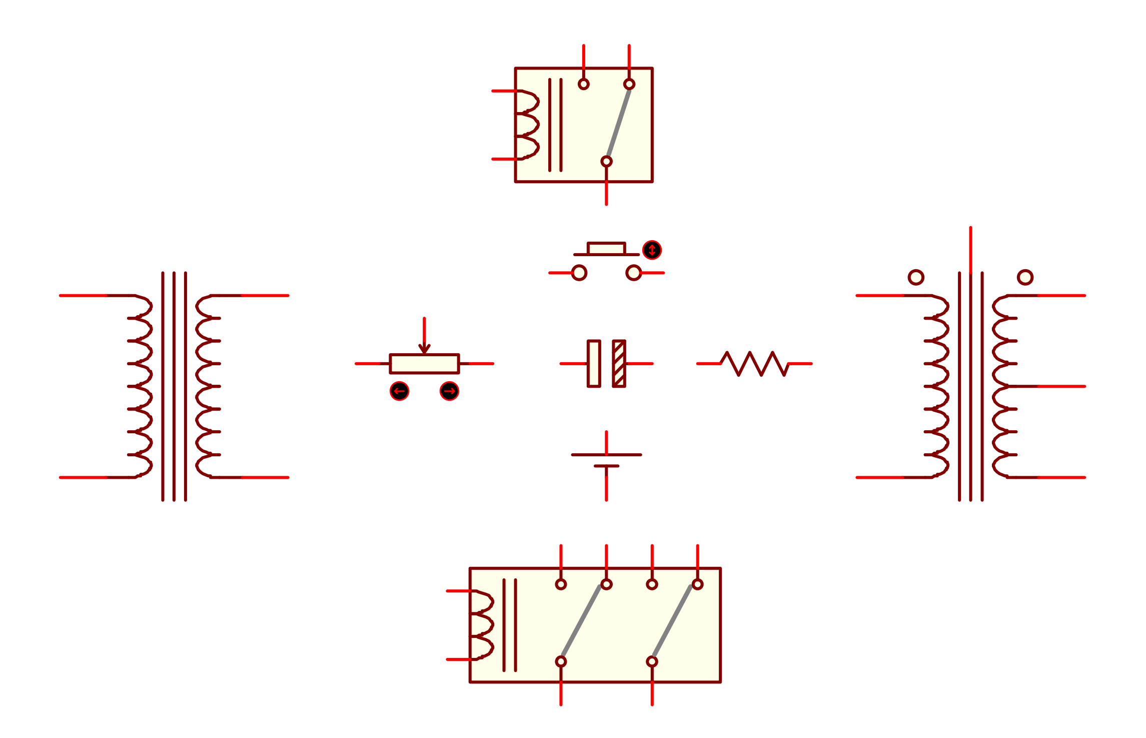
أساسيات الدوائر الكهربية

(صيانة + شبكات)



مدرس المساق/ أحمد النحال

١ -١ مقدمة Introduction

سيتم في هذه الوحدة، شرح وحدات القياس العالمية The International system of units والتي تتكون من ست وحدات رئيسة، وأيضا الكميات الكهربائية Electric Quantities. ثم سنتطرق إلى نظام الترقيم العلمي Scientific Notation. ثم وحدات القياس المترية Metric Prefixes. وأخيرا، سيتم شرح تحويلات وحدات القياس Measurements Units Conversion.

١ -٢ وحدات القياس العالمية The International System of Units

فيما يلي سنتحدث عن وحدات القياس العالمية والتي تتكون من ست وحدات رئيسة يمكن أن نستفيد منها عند تعاملنا مع الدوائر الالكترونية. أيضا سنتحدث عن الكميات الكهربائية الأساسية. كما سيتم شرح اختصارات الأعداد التي تحتوي على مضاعفات العشرة وما تمثله من رموز مكافئة لها.

١ -٢ -١ وحدات القياس The Measurement Units

تتكون وحدات القياس الدولية من ست كميات أساسية يشترط فيها الدقة والثبات, وهي موضحة في الجدول التالي:

الكميات الأساسية Basic Quantities	رمز الكمية Quantity Symbol	وحدة القياس Unit	رمز وحدة القياس Unit Symbol
Length الطول	L	Meter متر	m
Mass الكتلة	M	Kilogram كيلوجرام	kg
Current التيار	I	Ampere أمبير	A
Time الزمن	t	Second ثانية	s
Temperature الحرارة	T	Kelvin كالفن	K
شدة الإضاءة Luminous Intensity	LI	Candle شمعة	cd

جدول (١-١) وحدات القياس The Measurement Units

حيث إن الحرارة Temperature و شدة الإضاءة Luminous Intensity لن تستخدم عند دراسة هذا المقرر. وتشتق من هذه الوحدات الأساسية العديد من الوحدات الفرعية التي تستخدم عند دراسة تحليل الدوائر في مقرر الدوائر الكهربائية, فعلى سبيل المثال هناك وحدة قياس القوة Force وهي نيوتن N التي تتكون

من كيلوجرام لكل ثانية تربيع $\frac{kg}{s^2}$. أما القدرة الكهربائية Electric Power فتقاس بالوات Watt ويرمز لها بالرمز W وتتكون من نيوتن متر لكل ثانية $\frac{Nm}{s}$. أيضا هناك الطاقة الكهربائية Electric Energy التي تقاس بالجول Joule ويرمز له بالرمز J ويتكون من Nm.

١ -٢ -٢ الكميات الكهربائية Electric Quantities

الجدول التالي، يوضح الكميات الكهربائية Electric Quantities الهامة والتي تستخدم كثيرا في الدوائر الكهربائية المختلفة.

رمز وحدة القياس Unit Symbol	وحدة قياس الكمية Quantity Unit	رمز الكمية Quantity Symbol	الكمية Quantity
V	Volt فولت	V	الجهد الكهربائي Electrical Voltage
J	Joule جول	W أو E	Energy الطاقة
A	Ampere أمبير	I	التيار الكهربائي Electrical Current
W	Watt واط	P	Power القدرة
c	Coulomb كولوم	q أو Q	الشحنة الكهربائية Electrical Charge
F	Farad فاراد	C	Capacitance السعة
H	Henry هنري	L	Inductance المحاثة
Ω	Ohm أوم	R	Resistance المقاومة
Ω	Ohm أوم	z	Impedance المعاوقة
Ω	Ohm أوم	X	Reactance المفاعلة
Hz	Hertz هيرتز	F	Frequency التردد

جدول (١-٢) الكميات الكهربائية Electric Quantities

ملحوظة

المعاوقة كمية مركبة Complex Number، الجزء الحقيقي فيها المقاومة، أما الجزء التخيلي فيمثل المفاعلة. حيث إن:

(١- ١) $z = R + iX$

١ -٣ الترقيم العلمي Scientific Notation

هي طريقة لكتابة الأعداد الكبيرة والصغيرة Large and Small numbers باستخدام مضاعفات الرقم ١٠ Powers of ten. أي إنه يمكن تمثيل هذه الأعداد كحاصل ضرب قيمة معينة في ضعف من مضاعفات الرقم عشرة.

(١ - ٢) $A*10^{\pm n}$

حيث يكون الأس موجب في حالة الأرقام الكبيرة 10^5 مثلا، وسالبا في حالة الأرقام الصغيرة 10^{-5}. والجدول التالي يوضح مكافآت قوى العشرة بالأرقام.

قوى العشرة الموجبة Power of ten is positive	قوى العشرة السالبة Power of ten is negative
$10^1 = 10$	$10^{-1} = 0.1$
$10^2 = 100$	$10^{-2} = 0.01$
$10^3 = 1000$	$10^{-3} = 0.001$
$10^5 = 100000$	$10^{-5} = 0.00001$

جدول (١ -٣) الترقيم العلمي Scientific Notation

فمثلا:

١. مقاومة مقدارها 150000000Ω تكتب $15*10^7$ أو $1.5*10^6$
٢. مكثف سعته $0.0000003F$ تكتب $3*10^{-7}$ أو $0.3*10^{-6}$

١ -٤ قواعد إجراء العمليات الحسابية على مضاعفات العشرة

- عملية الجمع **The summation**

يجب كتابة الأرقام المراد جمعها باستعمال نفس مضاعف الرقم عشرة (نفس الأس).

ملحوظة: عادة نختار أصغر الأسين

مثال (١ - ١)

عندما تكون n>m

$$A*10^n + B*10^m = A*10^{n-m}*10^m + B*10^m$$
$$= \left(A*10^{n-m} B\right)*10^m$$

- عملية الطرح **The subtraction**

أيضا ، في عملية الطرح يجب استعمال نفس الأس.

مثال (١ - ٢)

عندما تكون n>m

$$A*10^n - B*10^m = \left(A*10^{n-m} - B\right)10^m$$

- عملية الضرب The multiplication

في عملية الضرب تجمع الأسس. كما يلي:

$$\left(A*10^n\right)*\left(B*10^m\right)=\left(A*B\right)*10^{n+m}$$

- عملية القسمة The division

في عملية القسمة تطرح الأسس، أس البسط - أس المقام . كما يلي:

$$\frac{\left(A*10^n\right)}{\left(B*10^m\right)}=\frac{A}{B}*10^{n-m}$$

مثال (١ - ٣)

قم بإجراء العمليات الحسابية التالية:

a. $\left(2*10^6\right)+\left(5*10^7\right)$

b. $\left(5*10^7\right)-\left(2*10^6\right)$

c. $\left(5*10^{12}\right)*\left(3*10^{-6}\right)$

d. $\frac{\left(50*10^8\right)}{\left(25*10^3\right)}$

الحل

$$(a)(2*10^{6})+(5*10^{7})=2*10^{6}+50*10^{6}=52*10^{6}$$
$$(b)(5*10^{7})-(2*10^{6})=(50*10^{6})-(2*10^{6})=48*10^{6}$$
$$(c)(5*10^{12})*(3*10^{-6})=(5*3)*10^{12=(-6)}=15*10^{6}$$
$$(d)\frac{(50*10^{8})}{(25*10^{3})}=\frac{50}{25}*10^{8-3}=2*10^{5}$$

١ -٥ وحدات قوى العشرة المرادفة لوحدات القياس

Power of ten units, prefixes, which attached to the measurement units

في العلوم الهندسية بصفة عامة وفي الهندسة الكهربائية بصفة خاصة اختصرت كتابة بعض مضاعفات الرقم عشرة باستعمال بعض الاختصارات Prefixes. كما إن النظام الدولي لوحدات القياس The International System of Units يستخدم قوى العشرة power of ten لتحديد وحدات القياس، حيث يمكن استبدال كل رقم من مضاعفات العشرة بالرمز المكافئ له من الجدول التالي:

المضروب Power of ten	الرمز Symbol	محدد وحدة القياس Prefixes to the Units
$1*10^{-18}$	a	Atto آتو
$1*10^{-15}$	f	Femto فيمتو
$1*10^{-12}$	p	Pico بيكو
$1*10^{-9}$	n	Nano نانو
$1*10^{-6}$	μ	Micro ميكرو
$1*10^{-3}$	m	Milli مللي
$1*10^{-2}$	c	Centi سنتي
$1*10^{-1}$	d	Deci ديسي
$1*10^{1}$	da	Deka ديكا
$1*10^{2}$	h	Hecto هيكتو
$1*10^{3}$	k	Kilo كيلو
$1*10^{6}$	M	Mega ميجا
$1*10^{9}$	G	Giga جيجا
$1*10^{12}$	T	Tera تيرا

جدول (١ -٤) وحدات قوى العشرة المرادفة لوحدات القياس

مثال (١ - ٤)

عوضا عن كتابة القيمة $5*10^3\Omega$ نكتب باختصار $5k\Omega$

١ -٦ تحويلات وحدات القياس Measurement units Conversion

في كثير من الأحيان, وذلك عند تحليل الدوائر الكهربائية نحتاج لتحويل وحدات القياس من كمية إلى أخرى خصوصا إذا كانت هذه الكميات مختلفة في القيمة (الأس) . ولإتمام العمليات الحسابية كالجمع والطرح يجب أن تحتوي قيم المكونات على نفس قوى العشرة ، وبالتالي يجب اتباع القواعد التالية عند التحويل من قيمة إلى أخرى. وقواعد التحويل هذه، يمكن تلخيصها كما يلي:

حساب فارق الأس بين الوحدتين

مثال (١ - ٥)

من kilo إلى Giga: فارق الأس = 6

من milli إلى ال Pico : فارق الأس = 9

- عند تحويل وحدة إلى وحدة أصغر منها ، فإن الأس يكون موجبا ويساوي الفرق بين قيمة الأسين كما يلي:

$$A*10^{+(difference)} \qquad (١ - ٣)$$

مثال (١ - ٦)

عند تحويل $5M\Omega \leftarrow k\Omega$ ، فإن فارق الأس = 3

$$\Rightarrow 5M\Omega = 5*10^3 k\Omega$$

- عند تحويل وحدة إلى وحدة أكبر منها ، فإن الأس يكون سالبا ويساوي الفرق بين قيمة الأسين كما يلي:

$$A*10^{-(difference)} \qquad (١ - ٤)$$

مثال (١ - ٧)

عند تحويل $6nF \leftarrow mF$ ، فإن الفارق = 6

$$\Rightarrow 6nF = 6*10^{-6} mF$$

مثال (١ - ٨)

حول$0.15mA$ إلى μA

هنا نريد تحويل من وحدة إلى وحدة أصغر منها $\Leftarrow A*10^{+(difference)}$

$\because milli = 10^{-3}$ $\because micro = 10^{-6}$

فارق الأسين= 3

$$\Rightarrow 0,15mA = 0.15*10^{3}\ \mu A = 150\mu A$$

تدريبات

١. حول مايلي Convert the following

$(a) 4500mV \rightarrow mV$

$(b) 5000nA \rightarrow mA$

$(c) 47000pF \rightarrow mF$

$(d) 1800 f\Omega \rightarrow m\Omega$

$(e) 15mA \rightarrow A$

$(f) 0.1ns \rightarrow s$

$(g) 800\mu A \rightarrow mA$

٢. اكتب الكميات التالية باستخدام وحدات قوى العشرة:

أ) 29000 kW

ب) $7000\ \Omega$

ج) 0.0003 ms

د) 0.05 A

هـ) 0.00009 V

و) 7000000 V

ز) 0.000000008 s

ح) 9000 kW

٣. اجمع ما يلي:

أ) $15mA + 800\mu A$

ب) 13 ms + 0.1 ns

ج) $800\mu A + 1A$

د) 7000 µA + 13 nA

٤. فيما يلي، أوجد حاصل طرح B - A:

أ) $A=15mA$, $B=800\ \mu A$

ب) $A=0.1\ ms$ $B=13\ ns$

ج) $A=800\ \mu A$, $B= 1000\ nA$

د) $A=13mV$, $B=7000\ \mu V$

٥. فيما يلي، أوجد حاصل القسمة $\frac{A}{B}$:

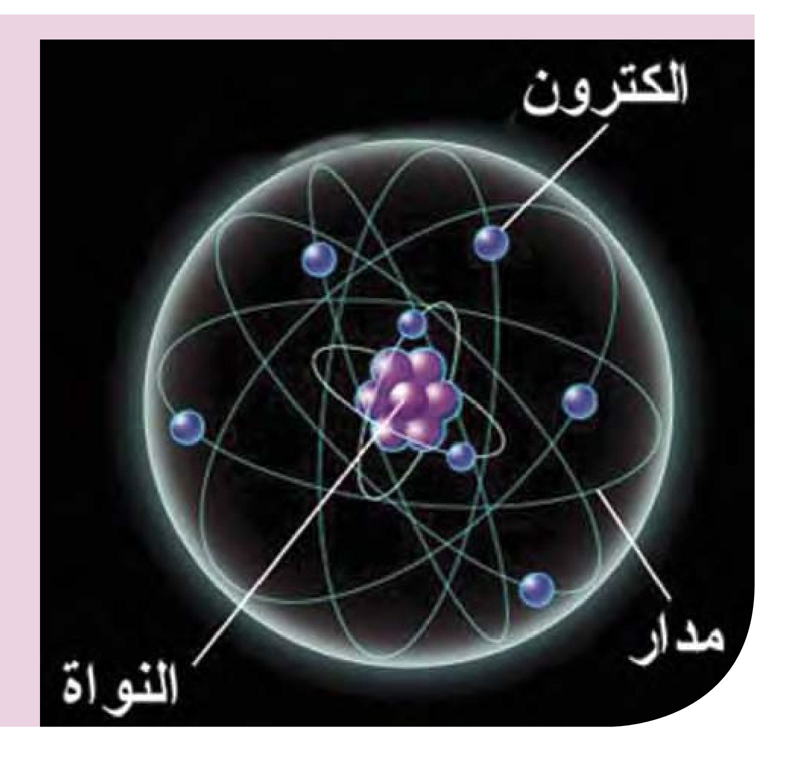
أ) $A=15mA$, $B=800\ \mu A$

ب) $A=0.1\ ms$ $B=13\ ns$

ج) $A=800\ \mu A$, $B= 1000\ nA$

د) $A=13mV$, $B=7000\ \mu V$

أساسيات الكهرباء



النظرية الذرية والكهرباء الساكنة

تناولت في دراستك السابقة النظرية الذرية ، ولهذه النظرية أهمية خاصة في علم الكهرباء ، حيث تستخدم في تفسير الخصائص الكهربائية للمواد وسريان التيار الكهربائي وتأثيراته المختلفة .

١ الذرة وتركيبها

الذرة (Atom)هي وحدة بناء المادة، ولكل عنصر ذرة خاصة به تختلف في تركيبها عن ذرات العناصر الأخرى . والذرة صغيرة جداً حيث أن واحد سنتمتر مكعب من النحاس يتكون من 10^{24} ذرة نحاس . تتكون الذرة من نواة ثقيلة نسبياً تدور حولها الإلكترونات في مدارات وعلى سبيل المثا ل كي يوضح الشكل (١) مكونات ذرة الكربون .

أ النواة (NUCLEUS) :

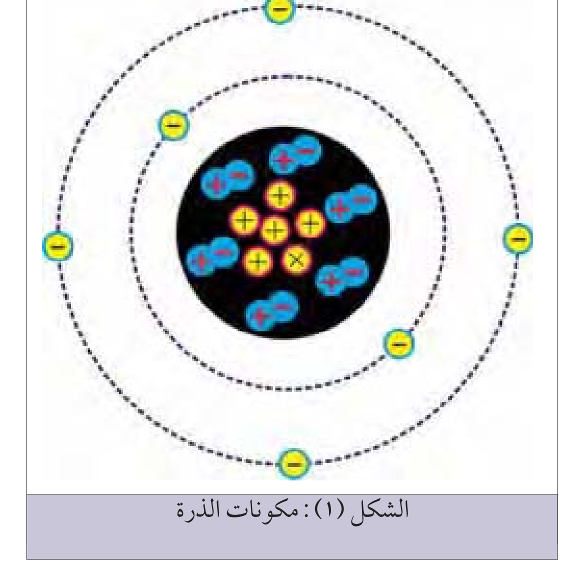
تحتوي نواة الذرة كما هو موضح في الشكل (١) من الجسيمات التالية :

١ البروتونات (Protons) :

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية موجبة .

٢ النيوترونات (Neutrons) :

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية متعادلة .



الشكل (١) : مكونات الذرة

ب الإلكترونات (Electrons) :

وهي جسيمات خفيفة جداً تحمل شحنة كهربائية سالبة مساوية لشحنة البروتون من حيث المقدار وتساوي (1.6×10^{-19} c) وتدور الإلكترونات حول النواة في مدارات على شكل طبقات .

٢ توزيع الإلكترونات حول النواة

تختلف العناصر عن بعضها، من حيث وزنها وصفاتها، باختلاف تكوين ذرة كل عنصر منها . وتختلف ذرة أي عنصر عن ذرة عنصر آخر في عدد بروتوناتها ونيوتروناتها و إلكتروناتها . أما عدد المدارات التي تدور فيها الإلكترونات حول النواة، فيعتمد على عدد إلكترونات الذرة . ولكل مدار من هذه المدارات سعة قصوى من الإلكترونات . ولكن يمكن أن يتواجد في أي مدار عدد من الإلكترونات أقل من سعته القصوى . والسعة القصوى لكل مدار هي كما يلي :

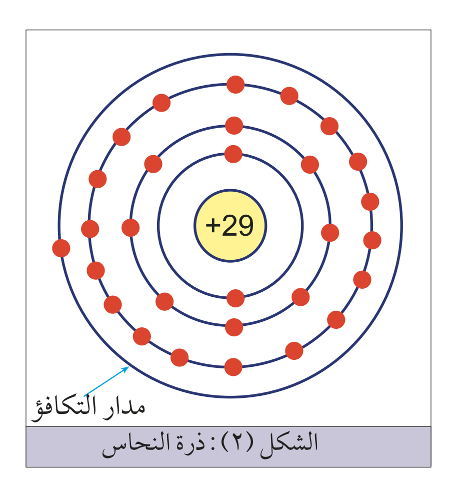
المدار الأول : (2) إلكترون	المدار الثاني : (8) إلكترون .
المدار الثالث : (18) إلكترون	المدار الرابع : (32) إلكترون

وتعطى السعة القصوى من الإلكترونات لكل مدار بالقانون التالي :

السعة القصوى من الإلكترونات في المدار= $2N^2$

حيث : (N) رقم المدار .

وكمثال للقاعدة أعلاه خذ ذرة النحاس ، حيث تحتوي نواتها على تسع وعشرين بروتون و تسع وعشرين نيوترون كما هو مبين في الشكل (٢) . وبالتمعن في الشكل (٢) ، تجد أن المدار الأول ممتلئ لسعته القصوى وهي (2) إلكترون ، والمدار الثاني ممتلئ لسعته القصوى وهي (8) إلكترون ، والمدار الثالث ممتلىء لسعته القصوى وهي (18) إلكترون ، أما المدار الرابع (الأخير) يحتوي على إلكترون واحد فقط ، أي إنه غير ممتلئ كلياً لأن سعته القصوى هي (32) إلكتروناً .



الشكل (٢) : ذرة النحاس

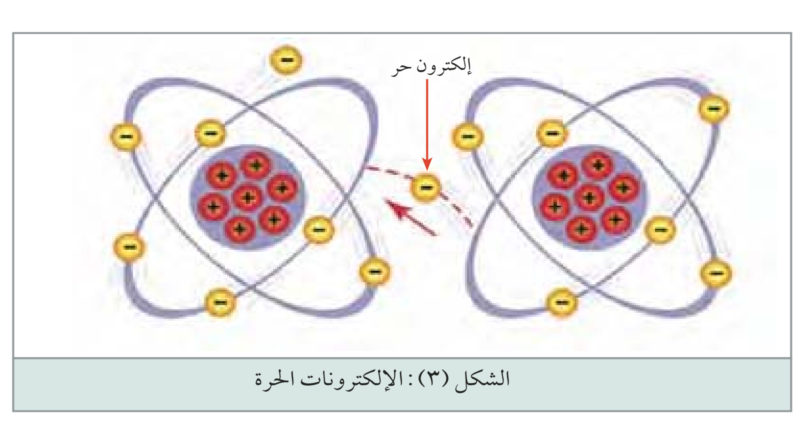
يسمى المدار الأخير(الخارجي) في الذرة مدار التكافؤ(Valence)وبالتالي فإن الإلكترونات في هذا المدار تسمى إلكترونات التكافؤ(Valence Electrons) . أن لإلكترونات التكافؤ أهمية كبيرة خاصة في علم الكهرباء ، لأنها الإلكترونات التي يمكن تحريرها بسهولة .

٣ الإلكترونات الحرة (Free Electons)

ترتبط الإلكترونات السالبة القطبية مع النواة الموجبة القطبية بقوة جذب تعتمد على بعد مداراتها عن تلك النواة . فكلما كان المدار قريباً من النواة كانت قوى الجذب بينهما أكبر . وكلما ابتعد المدار عن النواة كانت قوة الجذب أقل . ومن ناحية أخرى تكون طاقة الألكترون أكبر كلما كان يدور في مدار أعلى . وإذا اكتسب الألكترون طاقة إضافية فإنه ينتقل من مداره إلى مدار أعلى أو يفلت ويصبح حر الحركة .

إلكترونات التكافؤ هي الأبعد عن النواة وبالتالي تتعرض إلى اقل قوة جذب من النواة .

إذا تمعننا في تركيب ذرة النحاس المبين في الشكل(٢)، نلاحظ أن مدار التكافؤ يحوي إلكتروناً واحداً فقط ، وهو أبعد إلكترون عن النواة ،

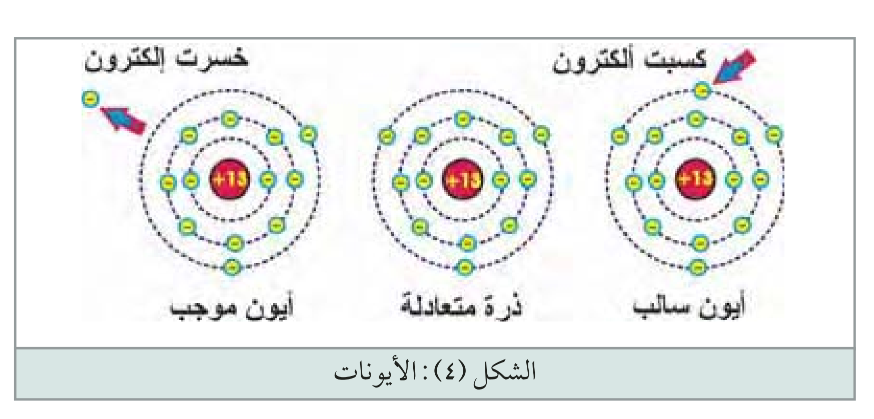


الشكل (٣) : الإلكترونات الحرة

وبالتالي فهو يتعرض إلى اقل قوة جذب من النواة. وهذا إلكترون يمكن أن يفلت من سيطرة النواة ويصبح حراً يتجول عشوائياً بين ذرة وأخرى إذا اكتسب طاقة إضافية مثل الحركة داخل مجال مغناطيسي أو الاحتكاك أو التفاعل الكيميائي أو الضوء أو مجرد قوة التنافر مع إلكترونات الذرات المجاورة، لاحظ الشكل (٣) وهكذا فإن قطعة من سلك نحاس تحوي ملاين الإلكترونات الحرة التي تتجول ضمن التركيب الذري للمادة مما يجعل النحاس موصل جيد للتيار الكهربائي.

٤ الأيونات - IONS

تكون الذرة متعادلة كهربائياً عندما يكون عدد إلكتروناتها مساوياً لعدد بروتوناتها. أما إذا فقدت هذه الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر، يصبح عدد بروتوناتها الموجبة أكثر من عدد إلكتروناتها السالبة. وتصبح الذرة مشحونة بشحنة كهربائية موجبة، وتسمى عندئذ "أيوناً موجباً". أما إذا اكتسبت الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر فإنها تصبح مشحونة بشحنة سالبة، وتسمى عندئذ "أيوناً سالباً"، لاحظ الشكل (٤). إن الأيونات السالبة والموجبة هي الأساس في حدوث تيار كهربائي سواء في الغازات أو في المحاليل الإلكتروليتية(المحاليل المتأينة الموصلة لتيار الكهربائي).



الشكل (٤): الأيونات

٥ الكهرباء الساكنة والشحنة الكهربائية

عند دلك قضيب من المطاط بقطعة من الفراء تنفصل (بفعل الدلك) بعض الإلكترونات عن قطعة الفراء



الشكل (٥): الشحن بالدلك

وتلتحق بذرات قضيب المطاط. وبهذا تصبح شحنة قضيب المطاط سالبة (بها فائض من الإلكترونات) في حين تصبح شحنة قطعة الفراء موجبة (بها نقص في الإلكترونات) كما هو موضح في الشكل (٥).

الشكل (٥) يظهر إلى اليمين تعادل الشحنات في قطعة الفراء وقضيب المطاط، وإلى اليسار قضيب المطاط وقد أصبح سالب الشحنة وقطعة الفراء وقد أصبحت موجبة الشحنة. وبهذا يتبين إن عملية شحن جسم بشحنة كهربائية سالبة، هي في الواقع إضافة إلكترونات سالبة إلى ذرات ذلك الجسم. أما شحن جسم بشحنة كهربائية موجبة هي في الواقع نزع إلكترونات من ذرات ذلك الجسم، لاحظ الشكل (٦)

شحنة سالبة | شحنة موجبة | شحنة متعادلة

الشكل (٦) : مفهوم الشحنة الموجبة والسالبة والمتعادلة.

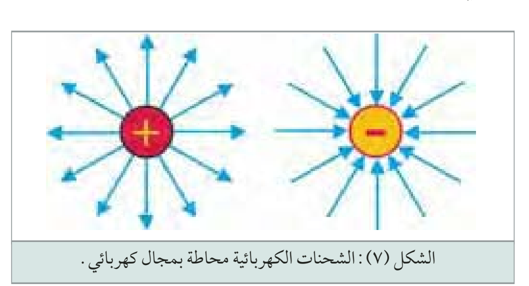
٦ الكولوم

يحدد مقدار الشحنة الكهربائية التي يحملها جسم معين بعدد الإلكترونات التي فقدتها أو اكتسبتها ذرات ذلك الجسم. فإذا فقدت ذراته إلكتروناً أو أكثر تكون شحنته موجبة، وإذا اكتسبت إلكتروناً أو أكثر تكون شحنته سالبة. تعرف وحدة قياس الشحنة الكهربائية بـ "الكولوم".

الكولوم هي قيمة تساوي مجموع شحنات (6.25×10^{18}) إلكتروناً. إن الجسم الذي يكتسب هذا العدد من الإلكترونات، يحمل شحنة سالبة تساوي (1)كولوم. والجسم الذي يفقد هذا العدد من الإلكترونات، يحمل شحنة موجبة تساوي (1)كولوم.

٧ المجال الكهربائي

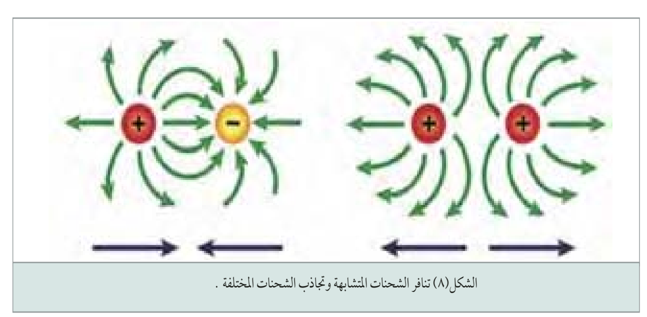
تعمل الشحنة الكهربائية الموجودة في مكان ما على إحداث أثر في الوسط المحيط بها بحيث تتأثر أي شحنة كهربائية توضع فيه بقوة كهربائية، عندئذ يقال إن مجالاً كهربائياً يؤثر في هذا الوسط. يتم تمثيل المجال الكهربائي بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال الكهربائي، ويمثل كل خط من خطوط المجال مسار وحدة الشحنات الموجبة، اذ تتحرك هذه الشحنة بتأثير القوة التي يمارسها المجال عليها. ترسم خطوط المجال الكهربائي بحيث تدل كثافة هذه الخطوط في منطقة ما على شدة المجال الكهربائي. ومن أهم مميزات خطوط المجال الكهربائي ما يلي:



الشكل (٧) : الشحنات الكهربائية محاطة بمجال كهربائي.

أ الجسم المشحون بشحنة كهربائية سالبة محاط بمجال الكهربائي تتجه خطوطه نحو مركز الشحنة، وتقل كثافتها كلما ابتعدنا عن الشحنة، لاحظ الشكل (٧).

ب الجسم المشحون بشحنة كهربائية موجبة محاط بمجال الكهربائي تنطلق خطوطه من مركز الشحنة


الشكل (٨) تنافر الشحنات المتشابهة وتجاذب الشحنات المختلفة .

إلى الخارج ، وتقل كثافتها كلما ابتعدنا عن الشحنة، لاحظ الشكل (٧) .

ج خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع .

ويبين الشكل (٨) أن تداخل خطوط المجال مع بعضها يؤدي إلى تنافر الشحنات المتشابهة . إن خطوط المجال لا تتقاطع مع بعضها داخلياً، وبالنتيجة تحاول كل شحنة أن تبتعد عن الأخرى . كما يبين الشكل(٨)شحنات مختلفة هنا يتصل المجالان مع بعضهما داخلياً، وبالنتيجة تتجاذب الشحنات وتتحركان باتجاه بعضهما .

بما أن هناك تنافراً و تجاذباً بين الشحنات الكهربائية ، فمعنى ذلك أن هناك قوى متبادلة بينهما تؤدي إلى تنافرها أو تجاذبها ، وحيث أن هذه القوى ناشئة عن الشحنات الكهربائية تسمى القوة الكهربائية . وبناءً على قانون كولوم فإن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطتين تتناسب تناسبا طردياً مع مقدار كل من الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما .



أسئلة الدرس

أملأ الفراغ بالكلمة أو العبارة المناسبة :

١ .... هي وحدة بناء العنصر ، وتتكون من نواة ثقيلة نسبياً تدور حولها الإلكترونات .

٢ تتكون نواة الذرة من ثلاثة جسيمات مختلفة هي : .... و .... و ....

٣ شحنة الالكترون......................، شحنة البروتون......................، شحنة النيوترون......................

، شحنة النواة ....، شحنة الذرة ....

٤ يحتوي المدار الأول للذرة ( ) إلكترون، والثاني ( ) إلكترون، والثالث ( ) إلكترون كحد أقصى .

٥ يسمى المدار الأخير للذرة مدار.................................. .

٦ الالكترون الحر هو الكترون ....

٧ تكون الذرة متعادلة كهربائياً عندما يكون عدد إلكتروناتها .... لعدد بروتوناتها .

٨ الذرة التي تفقد إلكتروناً تسمى " ...." ، والذرة التي تكتسب إلكتروناً تسمى " ...." .

٩ في الغازات والمحاليل الإلكتروليتية فإن .... و .... هي الأساس في حدوث التيار الكهربائي، بينما في المواد الموصلة فإن .... هي الأساس في حدوث التيار الكهربائي .

١٠ الشحنات المتشابهة .... والشحنات المختلفة...............................

١١ .... هو وحدة قياس الشحنة الكهربائية، ويساوي مجموع شحنات ($6.25x10^{18}$) إلكترون .

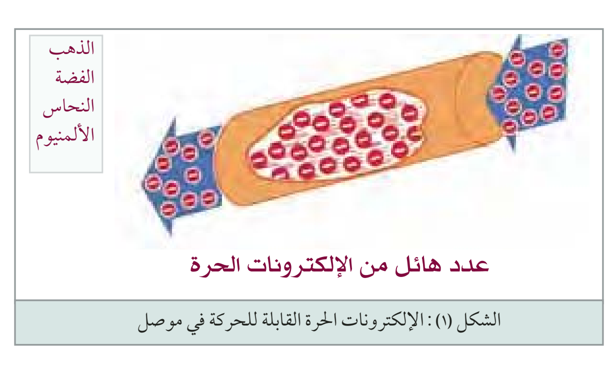
الموصلات والعوازل - التيار والجهد الكهربائي

١ المواصلات والعوازل

يتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بوساطة نواقل من أنواع ومقاسات مختلفة. تتكون هذه النواقل من قلب وغلاف. فالقلب عبارة عن مادة موصلة للكهرباء، والغلاف عبارة عن مادة عازلة للكهرباء. وعموماً تقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى ثلاثة أقسام، هي:

أ المواد الموصلة (Conductors)

وهي المواد التي تسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل المعادن بمختلف أنواعها. ويرجع السبب في ذلك إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على عدد هائل من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير قوة خارجية كمصدر جهد كهربائي أو بطارية، كما موضح في الشكل (١)



الشكل (١): الإلكترونات الحرة القابلة للحركة في موصل

إن الفضة والنحاس والذهب والألمنيوم هي من الموصلات الممتازة. ولكن نادراً ما تستخدم الفضة أو الذهب في عمل الموصلات بسبب ارتفاع ثمنها. أما النحاس فيستخدم في شبكات التمديدات الداخلية والأجهزة الكهربائية والإلكترونية، في حين يستخدم الألمنيوم في شبكات نقل وتوزيع الكهرباء الخارجية.

ب المواد العازلة (Insulators)

وهي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل الخشب والزجاج والمطاط والبلاستك. ويرجع السبب في ذلك إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على عدد قليل جداً من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير جهد كهربائي كما موضح في الشكل (٢).

للمواد العازلة أهمية كبيرة في الأنظمة الكهربائية نظراً لاستعمالاتها المتعددة. فمثلاً، يستخدم البلاستيك في تغطية الأسلاك الكهربائية لحماية الإنسان من الصدمة الكهربائية.



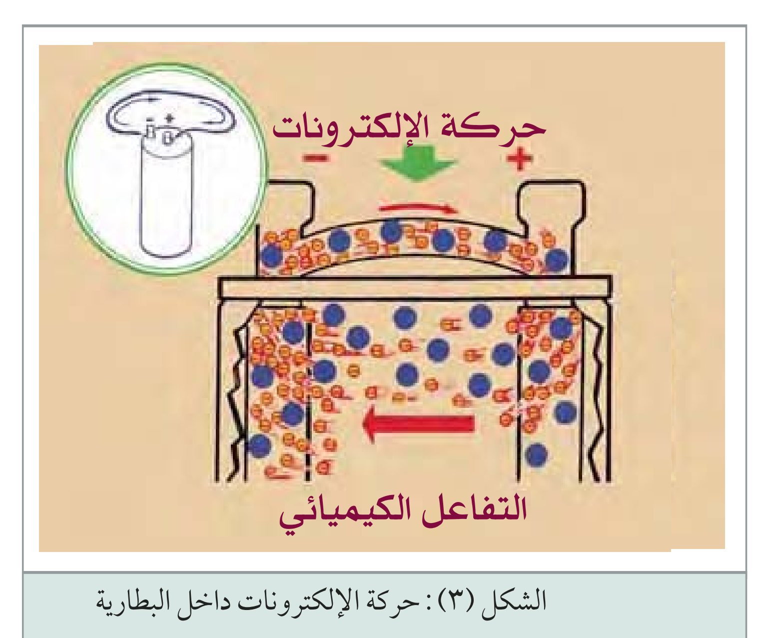
الشكل (٢): مادة عازلة ويظهر فيها عدد قليل جداً الإلكترونات الحرة القابلة للحركة

ج أشباه الموصلات (Semiconductos)

هي مواد وسط بين المواد العازلة والمواد الموصلة، أي إنها في حالتها النقية عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون عازلة للكهرباء ويتم التحكم بموصليتها عن طريق اضافة بعض الشوائب إليها . ولأشباه الموصلات أهمية خاصة في مجال الهندسة الإلكترونية الحديثة حيث تستخدم في صناعة جميع العناصر الإلكترونية مثل الترانزستورات والدارات المتكاملة . ومن أهم المواد شبه الموصلة المستخدمة في هذا المجال : السيليكون ومن ثم الجرمانيوم .

٢ التيار الكهربائي (Electrical Current)

التيار الكهربائي هو عبارة عن حركة موجهة للإلكترونات الحرة من نقطة إلى أخرى عبر موصل . ولكي تتحرك هذه الإلكترونات عبر الموصل، لا بد أن يؤثر عليها قوة خارجية . ونحصل على هذه القوة من مصدر الطاقة الكهربائية . وأحد هذه المصادر هو البطارية العادية



الشكل (٣) : حركة الإلكترونات داخل البطارية

تستخدم البطارية "التفاعل الكيميائي" لتوليد زيادة في عدد الإلكترونات عند أحد القطبين، ونقص في عددها عند القطب الآخر . لذلك يطلق على القطب الأول اسم "القطب السالب"، ويرمز له بإشارة "–" . ويطلق على القطب الثاني اسم "القطب الموجب"، ويرمز له بإشارة "+" . يبين الشكل (٣) سلك نحاس موصل بقطبي بطارية . وبالتمعن في هذا الشكل، يلاحظ بأن القطب السالب للبطارية يقوم بإبعاد الإلكترونات الحرة عنه، في حين يقوم القطب الموجب بجذبها إليه . وبالنتيجة تتحرك الإلكترونات الحرة من القطب السالب إلى القطب الموجب عبر السلك . إن هذه الحركة الموجهة للإلكترونات الحرة تسمى "سريان التيار الكهربائي" . ويقال في هذه الحالة إن هناك تيار كهربائي يسري في السلك .

عندما تدخل الإلكترونات الحرة الطرف الموجب للبطارية، تلتقطها الأيونات الموجبة . ولاستمرار سريان التيار الكهربائي، يستمر التفاعل الكيميائي داخل البطارية ويطلق باستمرار إلكترونات حرة وأيونات موجبة جديدة .

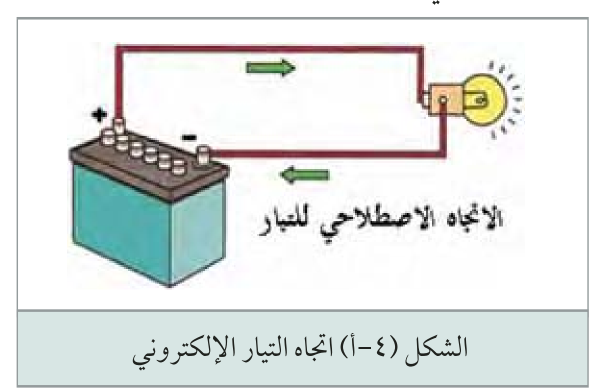
ملاحظة:

لقد وضع هذا المثال فقط لتوضيح مفهوم سريان التيار الكهربائي، بينما في الواقع لا يمكن وصل سلك بين طرفي البطارية بشكل مباشر، لأن ذلك يؤدي إلى مرور تيار كبير وتفريغ سريع للبطارية بسرعة، مما يؤدي إلى تلفها.

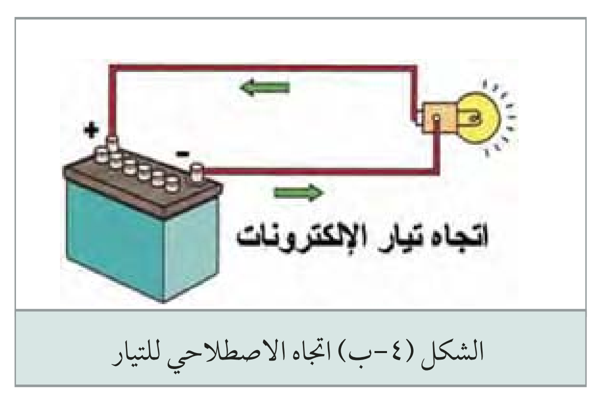
٣ إتجاه التيار الكهربائي

لاحظت في الشكل (٣) بأن الإلكترونات تتحرك عبر الموصل من الطرف السالب للبطارية إلى الطرف الموجب، وبالتالي يكون اتجاه التيار (تيار الإلكترونات) من القطب السالب إلى القطب الموجب كما هو مبين في يمين الشكل ٤- أ.

لقد اصطلح على أن يكون اتجاه سريان التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب كما مبين في يسار الشكل ٤- ب ، أي بعكس اتجاه سريان الإلكترونات. وقد تبنى العلماء الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربائي قبل وضع النظرية الذرية للكهرباء. ومع ذلك، فإن العديد من المراجع والكتب لا زالت تستعمل الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربائي.



الشكل (٤-أ) اتجاه التيار الإلكتروني



الشكل (٤-ب) اتجاه الاصطلاحي للتيار

٤ شدة التيار الكهربائي (Current Intensity)

ذكرنا في الفقرات السابقة بأن التيار الكهربائي عبارة عن سيل من الإلكترونات الحرة يتدفق عبر موصل في اتجاه معين. فإذا تدفق عدد قليل من الإلكترونات تكون شدة التيار منخفضة أما إذا تدفق عدد كبير من الإلكترونات تكون شدة التيار مرتفعة. وتعرف شدة التيار الكهربائي بأنها كمية الشحنة الكهربائية التي تعبر مقطعاً معيناً في الموصل في وحدة الزمن(الثانية)، أي معدل تدفق الشحنة الكهربائية، وبالتالي:

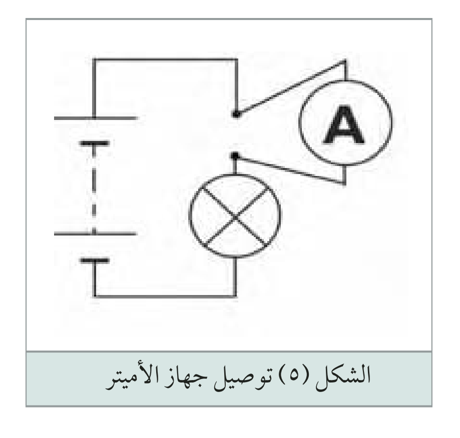
$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{كمية الشحنة الكهربائية(بالكولوم)}}{\text{الزمن(بالثانية)}}$$

ويتبين من المعادلة السابقة أن وحدة شدة التيار الكهربائي هي وحدة الشحنة مقسومة على وحدة الزمن، أي كولوم لكل ثانية، وتعرف هذه الوحدة باسم (أمبير)، نسبة إلى العالم اندرية ماري أمبير.

أحيان كثيرة يكون "الأمبير" وحدة كبيرة جداً، لذا تستخدم وحدات أصغر منه كالميلي أمبير الذي يساوي (0,001) أمبير ويرمز له بالأحرف (mA). وبتعبير آخر فإن (1000)ميلي أمبير يساوي (1) أمبير. والجدول التالي يوضح شدة التيار الذي تعمل عليه بعض الأجهزة الشائعة الاستخدام في الحياة العملية :

الجهاز	شدة التيار
مصابيح الإضاءة	(0.1-0.6) أمبير
المكاوي الكهربائية	(2-5) أمبير
الثلاجة المنزلية	(1.5-2.5)أمبير
المدفئة الكهربائية	(5-10)أمبير
الأفران الكهربائية	(10-15)أمبير
جهاز التلفزيون	(0.4-0.6) أمبير

تقاس شدة التيار في الدارات الكهربائية بجهاز خاص يدعى الأميتر ويرمز له بدائرة بداخلها الحرف(A). ومن الجدير بالذكر أن جهاز قياس شدة التيار(الأميتر)، يجب أن يوصل على التوالي في الدارة المراد قياس شدة التيار فيها كما في الشكل (٥).



الشكل (٥) توصيل جهاز الأميتر

٥ فرق الجهد والقوة الدافعة الكهربائية

إن أهم مستلزمات سريان التيار الكهربائي هو وجود قوة مؤثرة خارجية تجبر الإلكترونات الحرة (الشحنات) على التحرك في اتجاه معين عبر الموصل. وكما ذكرنا سابقاً، يمكنك أن تحصل على هذه القوة من مصادر الطاقة الكهربائية كالبطاريات والمولدات. وتسمى هذه القوة بأسماء عدة مختلفة، هي: القوة الدافعة الكهربائية، وفرق الجهد، والجهد الكهربائي، والفولتية. ومع اختلاف هذه المسميات إلا إنها تقريباً متشابهة وتقاس بوحدة "الفولت"، ويرمز لها بالحرف (V). ويمكن تعريفها بأنها القوة التي تجبر الإلكترونات (الشحنات) على التحرك في اتجاه معين عبر الموصل، أي تسبب سريان التيار الكهربائي.

أ فرق الجهد الكهربائي

ينشأ فرق الجهد الكهربائي عند وجود فرق في كمية الشحنات الكهربائية (الإلكترونات) بين نقطتين في

دارة كهربائية . حيث تنتقل الإلكترونات من المنطقة الغنية بالإلكترونات إلى المنطقة التي تعاني من نقص فيها . فالبطارية مثلاً ، لديها طرف سالب غني بالإلكترونات الحرة ، وطرف موجب فقير بها (بالإلكترونات الحرة) . ومن أجل أن تتعادل الشحنات ، تتوق لإلكترونات الحرة الموجودة عند الطرف السالب لتتحرك نحو الطرف الموجب . وهذا يعني وجود فرق جهد بين الطرف الموجب والطرف السالب للبطارية . وإذا وصلنا طرفي البطارية بموصل من النحاس مثلاً ، فإنه يتشكل ممر للتيار بين طرفي البطارية ، فتتحرك الإلكترونات الحرة من الطرف السالب إلى الطرف الموجب بفعل تأثير فرق الجهد . .

ب القوة الدافعة الكهربائية EMF

يبين الشكل(٤-أ) بطارية كهربائية متصلة بمحمل خارجي(مصباح) . وفقاً للاصطلاح المعروف يسري التيار الكهربائي داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب ، أما في الحمل الخارجي ، فيسري التيار الكهربائي من القطب الموجب ذي الجهد الأعلى إلى القطب السالب ذي الجهد الأقل . ولكي تتحرك الشحنة دورة كاملة عليها التغلب على مقاومة الحمل وعلى المقاومة الداخلية للبطارية ، ولتحقيق ذلك تبذل البطارية على الشحنة شغلا لنقلها في الدارة الكهربائية ، إذ يكون عمل البطارية هو بذل الشغل اللازم لتمكين الشحنة من إتمام دورتها الكاملة في الدارة .

فمقدار الشغل المبذول من المصدر الكهربائي لنقل شحنة موجبة اصطلاحية مقدارها واحد كولوم خلال الدارة الكلية(داخل المصدر وخارجه)يسمى القوة الدافعة الكهربائية للمصدر الكهربائي وتقاس بوحدة الفولت .

والجدير بالذكر إن مصطلح " القوة الدافعة الكهربائية " يستخدم عادة للتعبير عن فرق الجهد بين طرفي مصدر كهربائي بدون حمل خارجي (أي في حالة عدم مرور تيار) ، وذلك لتجنب احتساب هبوط الجهد على المقاومة الداخلية للمصدر الكهربائي . ويرمز للقوة الدافعة الكهربائية باللغة العربية بالأحرف (ق . د . ك)، وباللاتينية بالأحرف .(E.M.F)

٦ الفولت

الفولت هو وحدة قياس فرق الجهد (الضغط الكهربائي أو القوة الدافعة الكهربائية)، ويرمز له بالحرف (V) . وبالتعريف ، فإن (1) فولت هو فرق الجهد اللازم لتحريك تيار شدته (1) أمبير عبر موصل مقاومته (1) أوم ، وسنشرح المقاومة بالتفصيل لاحقاً . وأجزاء الفولت المستخدمة في مجال الإلكترونيات هي :

أ الميلي فولت :

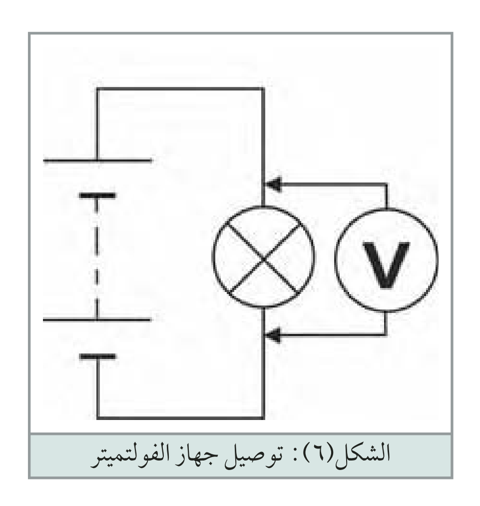
ويرمز له بالحرفين .(mV) ويساوي (10^{-3}) فولت .

ب الميكروفولت :

ويرمز له بالحرفين (μV)ويساوي(10^{-6}) فولت .

أما مضاعفات الفولت فهي : " الكيلوفولت " ويرمز لها بالحرفين (KV) وتساوي (1000) فولت .

يقاس فرق الجهد في الدارات الكهربائية بجهاز خاص يدعى الفولتميتر ويرمز له بدائرة بداخلها الحرف(V) . ومن الجدير بالذكر أن جهاز قياس فرق الجهد (الفولتميتر)، يجب أن يوصل على التوازي مع الحمل أو المصدر المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه كما في الشكل(٦) .



الشكل(٦) : توصيل جهاز الفولتميتر

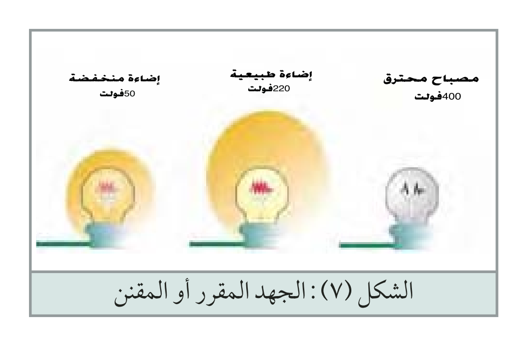
٧ الجهود المستخدمة في الحياة العملية

لقد اتفق على توحيد الجهود المستخدمة في البطاريات . نذكر منها جهود البطاريات الجافة مثل (1.5) و(6) و(9) فولت، وجهود البطاريات السائلة مثل (12) فولت و (24) فولت .

تختلف جهود شبكات التيار العام من بلد إلى آخر ، فالجهود المستخدمة في معظم دول العالم بما فيها الدول العربية (220) فولت، في حين إن الجهود المستعملة في أمريكا (110)فولت، وفي بريطانيا(240) فولت . أما شبكات نقل الطاقة الكهربائية (الضغط العالي)، فيتراوح جهدها بين (380000 - 6600)فولت .

٨ الجهد المقرر

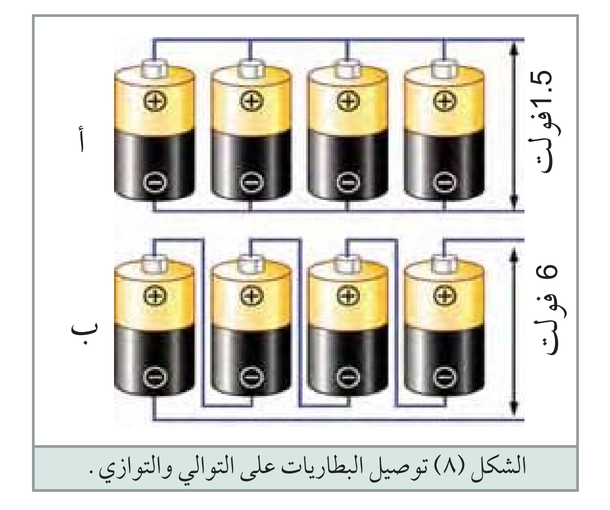
لكل جهاز كهربائي قيمة جهد محددة يجب أن لا يتعداها . وتسجل عادة هذه القيمة على لوحة مواصفات الجهاز، ويسمى "الجهد المقرر أو المقنن أو الاسمي" . فمثلاً، يعمل المصباح المبين في الشكل (٧) على جهد كهربائي (220)فولت . فعند تعرضه لجهد(400) فولت يزداد تياره إلى أكثر مما يستطيع أن يتحمل المصباح مما يؤدي إلى إتلافه . وعند تعرضه لجهد (50)فولت، لن يكون تياره كافياً لإضاءة المصباح بشكل طبيعي .



الشكل (٧) : الجهد المقرر أو المقنن

٩ توصيل البطاريات

يمكن الحصول على جهد أعلى من القوة الدافعة الكهربائية لبطارية واحدة، بوصل عدة بطاريات على التوالي . إن الجهد الكلي للبطاريات الموصولة على التوالي يساوي مجموع جهود البطاريات المفردة . في الشكل (٨-ب) وصلنا أربع بطاريات علي التوالي، كل منها بجهد (1.5فولت)، وبذلك فإن الجهد الكلي يساوي (6 فولت) .

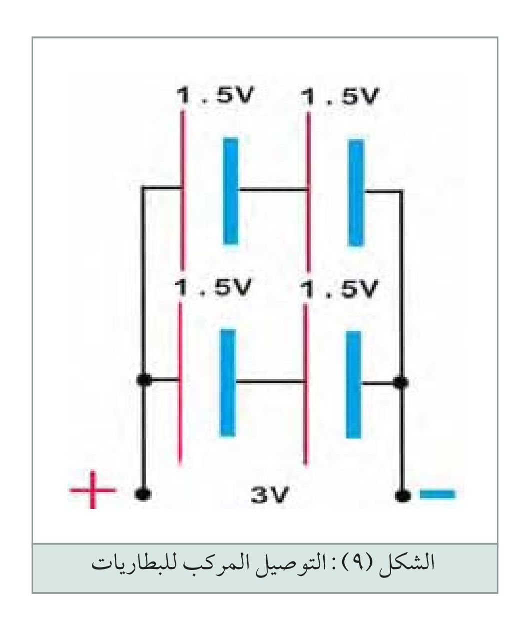


الشكل (٨) توصيل البطاريات على التوالي والتوازي .

عند وصل البطاريات على التوالي، يزداد الجهد الكلي، بينما تبقى إمكانية تزويد التيار على حالها ، لأن تيار الدارة الكلي يمر في كل بطارية، أي شدة التيار هي نفسها كما في بطارية واحدة.

عند توصيل البطاريات على التوازي، كما في الشكل (٨-أ)، تزداد إمكانية تزويد تيار أعلى في حين يبقى الجهد نفسه.

و للحصول على جهد أعلى وتيار أعلى، توصل البطاريات على التوالي والتوازي(التوصيل المركب) كما في الشكل (٩). في هذا الشكل وصلنا بطاريتين على التوالي لنحصل على جهد (3) فولت، ثم وصلنا هذه المجموعة على التوازي مع مجموعة أخرى مماثلة بهدف مضاعفة التيار.



الشكل (٩): التوصيل المركب للبطاريات

أسئلة الدرس الثاني

أكمل الفراغات التالية بالعبارات المناسبة

١ المواد الموصلة للكهرباء هي المواد التي ....

٢ المواد التي تحتوي على عدد هائل من الإلكترونات الحرة تسمى...

٣ من المواد الموصلة ....و...و...

٤ المواد العازلة للكهرباء هي المواد التي ....

٥ المواد التي تحتوي على عدد قليل من الإلكترونات الحرة تسمى ....

٦ من المواد العازلة ....و...و...

٧ كهربائياً، تعتبر أنصاف الموصلات في حالتها النقية عند درجة حرارة الغرفة..............................

٨ عند تطعيم المواد نصف الموصلة ببعض الشوائب تصبح ....

٩ من أهم المواد نصف الموصلة ....و................................

١٠ تستخدم المواد نصف الموصلة في صناعة .... مثل .... وقدرة المواد الموصلة على توصيل الكهرباء يرجع إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على.................................. ، وعدم قدرة المواد العازلة على توصيل التيار الكهربائي يرجع إلى تركيبها الذري حيث تحتوي على ....

١١ يعمل التفاعل الكيميائي في البطارية على إحـــداث.......................... عند أحد الأطراف و.................. عند الطرف الآخر .

١٢ التيار الكهربائي عبارة عن ....

١٣ بحسب الاتجاه الاصطلاحي، يكون اتجاه التيار في الدارة الكهربائية من القطب .... إلى القطب ....

١٤ يقاس التيار بـ .... ويرمز له بالحرف (   ).

١٥ الأمبير الواحد يساوي .... كولوم/ ثانية .

١٦ إذا تدفقت كمية من الشحنة الكهربائية عبر موصل تساوي (3)كولوم في زمن مقداره (1)ثانية، فإن شدة التيار المار في الموصل تساوي (   ) أمبير .

١٧ عادة، يستخدم مصطلح "القوة الدافعة الكهربائية" للتعبير عن ....

١٨ أذكر وحدة قياس كل مما يلي :

أ-القوة الدافعة الكهربائية : .... ب-فرق الجهد : ....

١٩ يرمز للجهد بالحرف ( )، وللتيار بالحرف ( )، وللقوة الدافعة الكهربائية بالأحرف اللاتينية ( ) .

الدارة الكهربائية والمقاومة الكهربائية

١ الدارة الكهربائية البسيطة (Simple Electrical Circuit)

تتكون الدارة الكهربائية في أبسط أشكالها من المكونات الأساسية التالية :

أ المصدر الكهربائي – Source

وهو الذي يوفر فرق الجهد أو الضغط الكهربائي اللازم لسريان التيار الكهربائي .

ب الحمل الكهربائي (Load)

وهو عبارة عن أحد الأجهزة الكهربائية كالمصباح أو المحرك . . . الخ .

جـ الموصلات (Conductors)

وهي تشكل مجرى سريان التيار بين المصدر الكهربائي والحمل . وغالباً ما تصنع من أسلاك نحاس أو ألمنيوم . ويمكن جعل التحكم في الدارة الكهربائية أكثر فاعلية ، وذلك بإضافة مفتاح(Switch) يوصل التيار بالحمل الكهربائي أو يفصله بسهولة ، كما يمكن إضافة مصهر(Fuse) لحماية عناصر الدارة من التيار المفرط كما مبين في الشكل (١) .

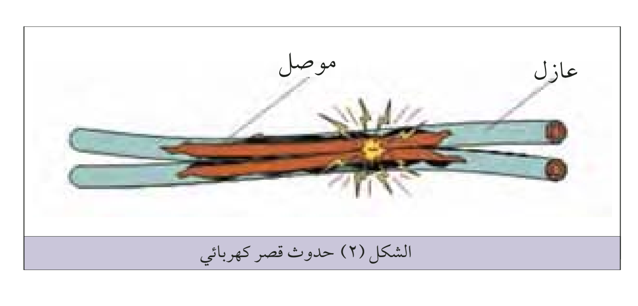
الشكل (١) : المخطط التصويري والرمزي لدارة كهربائية بسيطة

تكون الدارة الكهربائية مغلقة عندما تكون كافة أجزائها متصلة ببعضها البعض بحيث تمثل ممراً للتيار الكهربائي من أحد طرفي المصدر إلى الطرف الآخر عبر الحمل . وتكون الدارة الكهربائية مفتوحة عندما يكون أحد أجزائها معطوباً أو مفصولاً (غير متصل) بحيث يمنع مرور التيار الكهربائي .

٢ الدارة الكهربائية في حالة قصر (Short Circuit)

عندما يتصل طرفي المصدر الكهربائي بشكل مباشر بدون حمل (أي عبر مقاومة منخفضة) يتدفق تيار

هائل ينتج حرارة مرتفعة قد تؤدي إلى أتلاف بعض أجزاء الدارة الكهربائية، نقول بأنه حصل قصراً Short) (Circuit في الدارة. يحدث القصر في الدارة الكهربائية من أسباب عدة، كسوء عزل الوصلات أو توصيل خاطئ في الأسلاك كما مبين في الشكل (٢).



الشكل (٢) حدوث قصر كهربائي

٣ المخطط الرمزي للدارة الكهربائية البسيطة

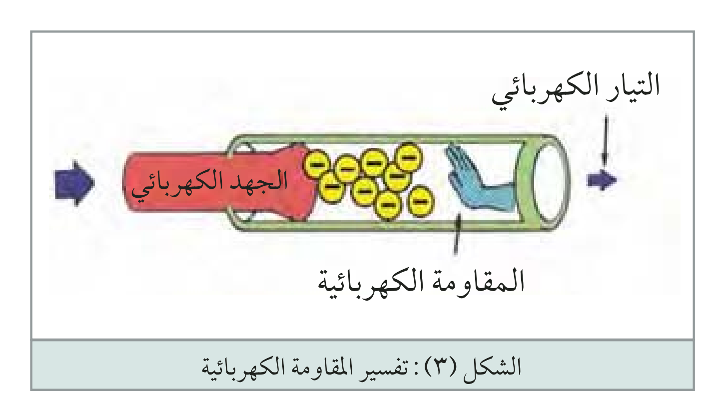
يبين الشكل (١) المخطط التصويري والمخطط الرمزي لدارة كهربائية بسيطة تحتوي على مصباح وبطارية جافة وجهاز أميتر لقياس شدة التيار المار عبر فتيلة المصباح. وبالرغم من إمكانية رسم مثل هذه الدارات البسيطة بالطريقة المبينة في يمين الشكل (١)، غير أنه من الصعب جداً استخدام هذه الطريقة في رسم الدارات المعقدة. ولهذا السبب يتم استعمال مخططات رمزية كالمبينة إلى يسار الشكل (١) تستخدم رموزاً تمثل مكونات الدارات الكهربائية. ولكن قبل قراءة مثل هذه المخططات يجب التعرف إلى الرموز الكهربائية التي تحتويها. فمثلاً، يرمز للبطارية بخط طويل يشير إلى القطب الموجب وبآخر قصير يشير إلى القطب السالب. ويبين الجدول التالي رموز بعض العناصر الكهربائية.

العنصر الكهربائي	الرمز الكهربائي
موصل	
تقاطع موصلين على مخطط كهربائي(دون حصول توصيل كهربائي بينهما).	
ملتقى موصلات أو عقدة بين موصلين.	
مصباح فتيلي	
مصباح تأشير	
خلية أولية أو ثانوية	
بطارية من الخلايا الأولية والثانوية	

مصدر تيار مستمر(DC)	
مصدر تيار متناوب(AC)	
محرك كهربائي	M
سخان كهربائي	
مصهر	

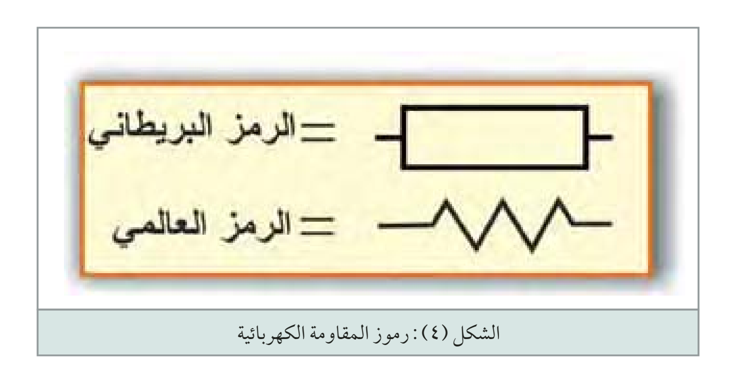
٤ المقاومة الكهربائية (Electrical Resistance):

إن الإلكترونات التي تشكل التيار الكهربائي تصطدم أثناء مسيرها عبر أي موصل بأجزاء مادة الموصل التي تبدي إعاقة أو مقاومة أمام مسير الإلكترونات في هذا الموصل. تعرف المقاومة الكهربائية بأنها مقدار اعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي فيها كما في الشكل (٣). ومن الجدير ذكره إن كل المواد المعروفة تتمتع - إلى حد ما - بهذه الخاصية.



الشكل (٣): تفسير المقاومة الكهربائية

للمواد العازلة مثل الزجاج والمطاط، مقدار كبير من المعارضة لحركة الإلكترونات عبرها، وبالتالي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي فيها. لذا يقال بأن لهذه المواد مقاومة كبير جداً وبأنها مواد عازلة.



الشكل (٤): رموز المقاومة الكهربائية

أما المواد الموصلة مثل النحاس والألمنيوم، فإنها تبدي معارضة قليلة جداً لحركة الإلكترونات عبرها، لذا يقال بأن لهذه المواد مقاومة منخفضة جداً وبأنها مواد موصلة. ومما ذكر أعلاه، يمكن الاستنتاج بأن المقاومة تحد من قيمة التيار المار في الدارة الكهربائية. ومع إن كل المواد الموصلة لها مقاومة تختلف من مادة إلى أخرى، إلا إننا نحتاج في الكثير من الأحيان وضع مقدار محدد من المقاومة في الدارة الكهربائية. فعلى سبيل المثال، عناصر التسخين الموجودة في الأفران الكهربائية وأجهزة التدفئة ما هي إلا عبارة عن مقاومات. ويشار للمقاومة الكهربائية بالحرف (R)، ويرمز لها في المخططات الكهربائية بالرمزين الموضحين في الشكل (٤).

٥ الأوم

وحدة قياس المقاومة ، ويرمز له بالحرف اليوناني أوميغا (Ω) ويعرف الأوم بدلالة الجهد والتيار . إن (1) أوم هو مقدار المقاومة التي تسمح بمرور تيار شدته (1) أمبير عند جهد (1)فولت ،

ومن مضاعفات الأوم " الكيلو أوم " ويرمز له بالحرفين(KΩ) ، ويساوي (10^3) أوم . والميجا أوم ويرمز له بالحرفين (MΩ)، وتساوي (10^6) أوم . والجدول التالي يوضح قيم مقاومة بعض . الأجهزة الحرارية المستخدمة في الحياة العملية

سلك توصيل	أقل من 1 أوم
قطعة مطاط	أكثر من20 مليون أوم
مكوى كهربائي	0 - 50 أوم
عناصر التسخين في الأفران	15 - 50 أوم
مصابيح الإضاءة	0-600 أوم عندما تكون ساخنة 0 - 60 أوم عندما تكون باردة (ترتفع قيمة المقاومة بإرتفاع حرارتها) .

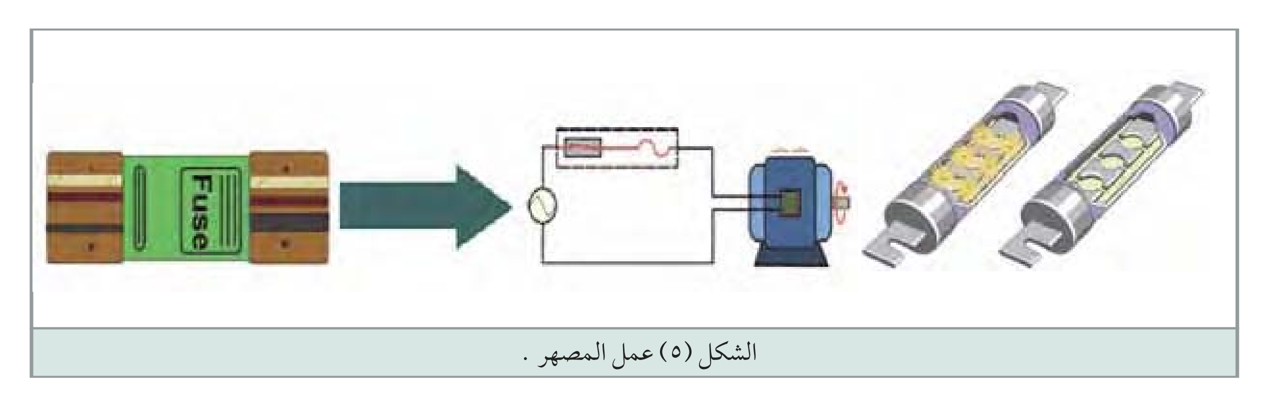
٦ الموصلية (Conductance):

في بعض الأحيان يكون من المناسب أن نحسب مدى موصلية المادة للتيار الكهربائي أكثر من حساب مدى معارضتها لمرور التيار الكهربائي . لهذا تستخدم خاصية تسمى الموصلية.(Conductance)

إن الموصلية هي عكس المقاومة وتعبر عن قدرة المادة على تمرير التيار الكهربائي، ويرمز لها بالحرف(G)وتقاس بوحدة موا (mho) وهي معكوس كلمة أوم(ohm)، وفي الآونة الأخيرة تم اعتماد وحدة السيمينز (Siemens) لقياس الموصلية ويرمز لها بالحرف(S) . ورياضياً فإن الموصلية هي مقلوب المقاومة كما في العلاقة : $G=\frac{1}{R}$

٧ المصهرات (FUSES):

المصهر (الفيوز) هو عنصر حماية للمعدات والأجهزة الكهربائية وعناصر الدارة الكهربائية من التيارات الزائدة عن اللازم أو من تيار قصر الدارة الذي يؤدي إلى تلف هذه الأجهزة . ويتلخص عمل المصهر في أن عنصره ينصهر ويفتح الدارة عند زيادة التيار عن حد معين، كما يوضح الشكل(٥) .



الشكل (٥) عمل المصهر .

أسئلة الدرس

أجب عن الأسئلة التالية :

١ تتكون الدارة الكهربائية من العناصر الأساسية التالية : .... و........و.........و.........

٢ تكون الدارة الكهربائية مغلقة عندنا تكون .... وتكون الدارة الكهربائية مفتوحة عندما يكون ....

٣ تحدث دارة القصر (الشورت) عندما ....

٤ المقاومة كهربائية هي ....

٥ يرمز للمقاومة الكهربائية بالحرف ( )، ووحدة قياسها.... .. ويرمز لها بالحرف اليوناني( ).

٦ تعمل المقاومة في الدارة الكهربائية على الحد من......... . .

٧ عناصر التسخين في الأجهزة الكهربائية الحرارية عبارة عن ....

٨ القيمة التقريبية لمقاومة العناصر التالية هي :

أ- سلك توصيل .... أوم.

ب-مادة عازلة .... أوم.

جـ- عنصر التسخين في الفرن .... أوم.

دارات التيار المستمر



المقاومات الكهربائية

درست في درس سابق بأن المقاومة الكهربائية هي خاصية المادة التي تعيق مرور التيار الكهربائي فيها عند وصلها بمصدر كهربائي، وتقاس بوحدة الأوم. كما درست بأن الأحمال الكهربائية هي عبارة عن مقاومة. وتعلمت من قانون أوم بأن مقاومة الحمل هي التي تحدد قيمة التيار المار به نتيجة وصله بمصدر كهربائي. وفي هذا الدرس، سوف تتعرف إلى العوامل التي تحدد مقاومة موصل ما، وإلى أنواع المقاومات، ونظام ألوانها، وطرق توصيلها.

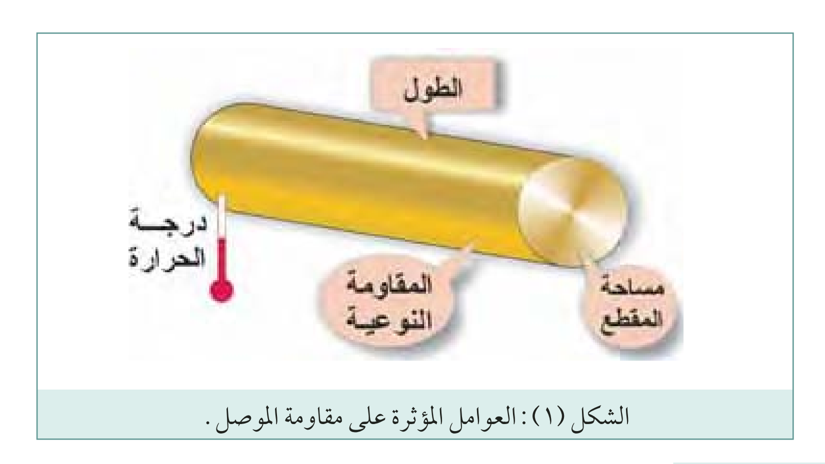
أولاً مقاومة الموصلات

١ مقاومة الموصل

تعتمد مقاومة الموصل كما هو مبين في الشكل (١) على أربعة عوامل، هي:

أ طول الموصل

وتزداد مقاومة الموصل بازدياد طوله، أي أن مقاومة الموصل تتناسب طردياً مع طوله.



الشكل (١): العوامل المؤثرة على مقاومة الموصل.

ب مساحة مقطع الموصل

تتناسب مقاومة الموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الموصل، أي أنه كلما زادت مساحة مقطع الموصل قلت مقاومته. تماثل أسلاك الكهرباء مواسير الماء من حيث تدفق التيار، فالماسورة التي مساحة مقطعها كبير تكون مقاومتها لتدفق تيار الماء منخفضة، أما الماسورة التي مساحة مقطعها صغير تكون مقاومتها لتدفق تيار الماء مرتفعة.

جـ نوع مادة الموصل

يمكن مقارنة مقاومة المواد المختلفة بالرجوع إلى ما يعرف بالمقاومة النوعية للمادة، وهي مقاومة عينة من المادة على هيئة موصل طوله (1)متر ومساحة مقطعه (1)مم^2 عند درجة حرارة (20) سلسيوس، ووحدة قياسها (أوم . مم^2/ متر)، ويرمز لها بالحرف رو (ρ).

المـــادة	المقاومة النوعية – أوم . مم٢/ متر
الفضة	0.0149
النحاس	0.0178
الذهب	0.021
الألمنيوم	0.0241
الحديد	0.14
سبيكة النيكروم (نيكل، كروم، حديد)	1.9

الجدول (١)

يمكن حساب مقاومة الموصل (بالأوم)، باستخدام العلاقة الآتية:

مقاومة الموصل (بالأوم) = $\frac{\text{طول الموصل}}{\text{مساحة مقطع الموصل}}$ × المقاومة النوعية لمادة الموصل

$$R=\frac{L}{A}\times \rho$$

حيث أن:

R =	مقاومة الموصل (بالأوم).
L =	طول الموصل(بالمتر).
A =	مساحة مقطع الموصل(ملم٢).
ρ =	المقاومة النوعية لمادة الموصل (أوم. ملم٢/ متر).

مـــثـــال ١

احسب مقاومة سلك من النحاس طوله (100) متر ومساحة مقطعه (1.5) مم2، علماً بأن المقاومة النوعية للنحاس (0178. 0) أوم. مم^2/ متر.

الحـــل

مقاومة الموصل = (100÷ 1 . 5) × 0 . 8710 = 1,81 أوم.

د درجة الحرارة

تتغير قيمة مقاومة المادة بتغير درجة الحرارة، ويعبر عن هذا التغير بالمعامل الحراري لمقاومة المادة الذي يعرف بأنه الزيادة أو النقصان في قيمة مقاومة عينة من تلك المادة مقاومتها (1)أوم نتيجة تغير درجة حرارتها (1) درجة سلسيوس. يرمز للمعامل الحراري بالحرف اليوناني(α)، ويتم التعبير عن قيمته بوحدة أوم/ أوم/ درجة مئوية.

يكون المعامل الحراري للمقاومة موجباً (Positive Temperature coefficient) للمواد التي تزداد قيمة مقاومتها بازدياد درجة حرارتها، مثل المعادن النقية التي يؤدي ازدياد درجة حرارتها إلى زيادة حركة الإلكترونات العشوائية مما يصعب عملية دفعها بشكل منتظم في اتجاه محدد لتشكيل التيار الكهربائي.

ويكون المعامل الحراري للمقاومة سالباً (Negative Temperature coefficient) للمواد التي تقل قيمة مقاومتها بازدياد درجة حرارتها، مثل أشباه الموصلات والعوازل والمحاليل الإلكتروليتية التي تقل مقاومتها نتيجة تولد المزيد من حاملات الشحنة الكهربائية بفعل الحرارة. ويبين الجدول التالي قيمة المعامل الحراري لبعض المواد المستخدمة في مجال الكهرباء.

المادة	المعامل الحراري
النحاس	+0.0038
الألمنيوم	+ 0.004
الفولاذ	+ 0.0045
الجرافيت	- 0.0004
التنجستن	+ 0.0041
الكونستانتان (سبيكة)	+0.000005

الجدول (٢)

ويمكن حساب قيمة المقاومة الساخنة (R_{HOT})باستخدام العلاقة التالية:

$$R_{HOT} = R_{20} \{1 + \alpha (T_{HOT} - 20)\}$$

حيث أن:

R_{20} قيمة المقاومة عند درجة 20 مئوية.

(α) المعامل الحراري للمادة.

T_{HOT} درجة الحرارة النهائية للمقاومة.

مثال ٢

احسب المقاومة الكهربائية لفتيل مصباح كهربائي مصنوع من التنجستن عند وصول درجة حرارتها إلى 2020 مئوية أثناء تشغيله. إذا علمت أن مقاومة الفتيل عند درجة حرارة الغرفة 20 مئوية تساوي 50 أوم وان المعامل الحراري لتنجستن يساوي 0.005 لكل درجة مئوية.

الحل

$$R_{HOT} = R_{20} \{1 + \alpha (T_{HOT} - 20)\}$$

$$R_{2020} = 50 \{1 + 0.005 (2020 - 20)\} = 60\Omega$$

٢ الأسلاك الكهربائية ومقاساتها المعيارية

تستخدم الأسلاك الكهربائية في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، كما وتدخل في صناعة الأجهزة الكهربائية مثل المحولات والمحركات الكهربائية وغيرها. ولهذه الأسلاك مقاومة تعتمد في قيمتها على طول السلك ومساحة مقطعه ونوع مادته. وغالباً تكون هذه المقاومة غير مرغوب فيها لأنها تسبب:

أ هبوط الجهد على امتداد السلك الناقل

ويكون الجهد في نهاية الخط عند الحمل أقل منه في بداية الخط عند المصدر. وتعتمد قيمة هبوط الجهد على مقاومة السلك وقيمة التيار المار عبره. ومن المتعارف عليه أنه لا يجوز أن يتجاوز هبوط الجهد، في تركيبات الإضاءة، ما نسبته (1.5-2.5%) من جهد الشبكة، وفي أجهزة التدفئة (3%)، وفي المحركات (5%).

ب انخفاض في الطاقة الكهربائية المنقولة

حيث تعمل مقاومة الأسلاك على تحويل جزء من هذه الطاقة إلى طاقة حرارية تؤدي إلى تسخين الأسلاك. ويبين الجدول (٣) بعض المقاسات المعيارية للأسلاك النحاسية وقيمة التيار الذي تمرره هذه الأسلاك بأمان.

مساحة المقطع (مم2)	1	1.5	2	2.5	4	6
التيار المقرر (أمبير)	11	13	16	18	24	36

الجدول (٣) المقاسات المعيارية للأسلاك النحاسية وقيمة التيار الذي تتحملة

إذا تجاوزت قيمة التيار المار عبر سلك القيمة المسموح بمرورها، ترتفع درجة حرارة السلك، وقد تؤدي إلى انصهار العازل الذي يغلفه، وبالتالي إلى حدوث تماس كهربائي ونشوب حرائق. وبشكل عام، يستخدم في التمديدات المنزلية أسلاك (1.5)مم^2 لتمديدات الإضاءة، وأسلاك(2.5)مم^2 لتمديدات القدرة.

ثانياً أنواع المقاومات

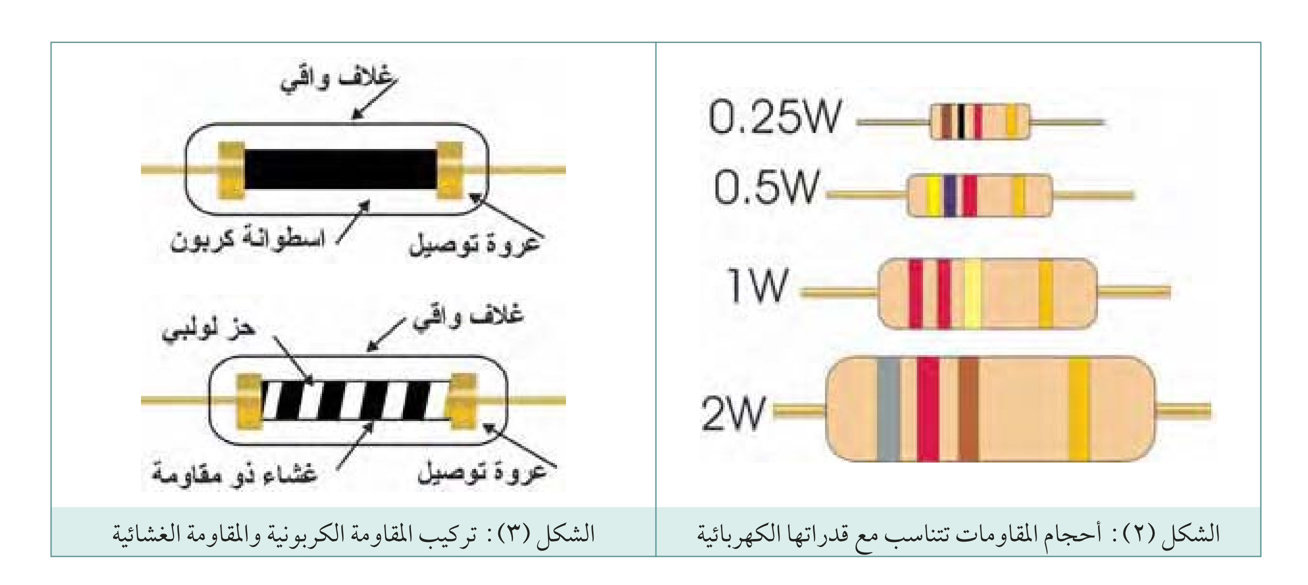
لتحقيق عمل الدارات الكهربائية والإلكترونية يلزم استخدام مقاومات كهربائية بقيم وخصائص محددة تتناسب وعمل هذه الدارات، لذا تصنع المقاومات بأشكال مختلفة لها قيم أومية معروفة وتتحمل تيارات كهربائية معلومة . وتقسم المقاومات إلى نوعين رئيسين هما : المقاومات ثابتة القيمة، ومتغيرة القيمة .

١ المقاومات ثابتة القيمة Fixed Resistors:

هي المقاومات التي لها قيمة ثابتة لا تتغير تكتب على جسم المقاومة بشكل مباشر (أرقام) أو بشكل غير مباشر (ألوان). وتقسم هذه المقاومات طبقاً لمادة صنعها إلى مقاومات كربونية وسلكية وغشائية .

أ المقاومات الكربونية Carbon resistors:

تتواجد المقاومات الكربونية بأحجام مختلفة بحيث تتناسب مع قدراتها الكهربائية كما موضح في الشكل (٢) . وتصنع هذه المقاومات من مزيج من الكربون المسحوق ومادة غير موصلة مثل مسحوق السيراميك (الفخار)، وتصب المادة بالشكل المطلوب (عادة يكون أسطوانياً) ثم تجمد بالحرارة، ويرش طرفا المقاومة بمعدن حتى يمكن توصيلها بالأسلاك الخارجية، لاحظ الشكل (٣) .



الشكل (٢): أحجام المقاومات تتناسب مع قدراتها الكهربائية

الشكل (٣): تركيب المقاومة الكربونية والمقاومة الغشائية

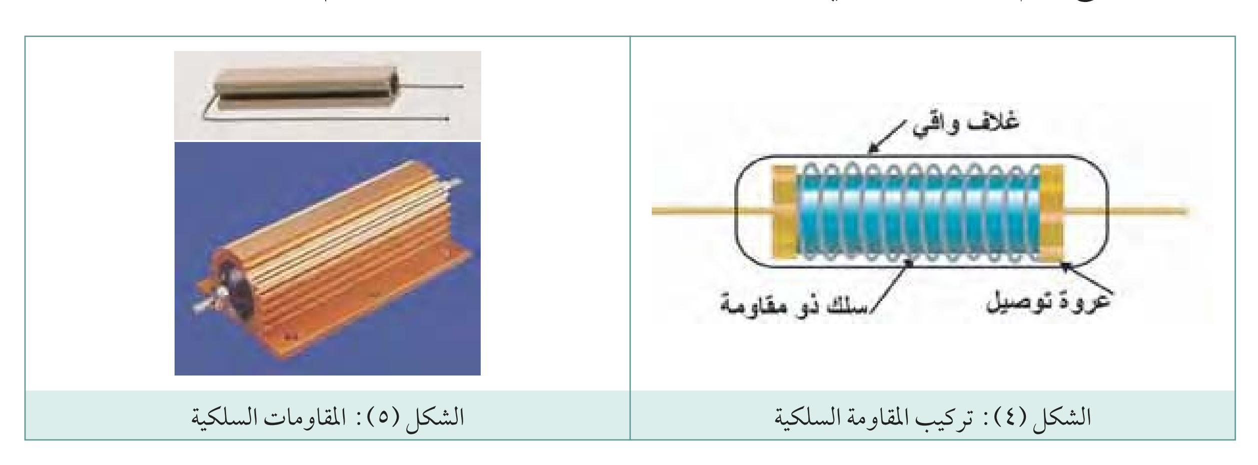
ب المقاومات الغشائية Film resistors:

يتطلب تصميم المقاومات الغشائية نثر غشاء متجانس من مادة ذات مقاومة حول سطح دليل تشكيل أسطواني خزفي ،ويتم الحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة بقطع حز لولبي في هذا الغشاء وبذلك يتغير طول المسار بين طرفي المقاومة وبالتالي قيمتها كما هو موضح في الشكل (٣). وتتواجد هذه المقاومات بثلاثة أنواع، هي : الغشاء الكربوني، وغشاء الأكسيد المعدني (أكسيد القصدير)، والغشاء المعدني (النيكل والكروميوم). وتشبه المقاومات الغشائية من حيث الشكل الخارجي المقاومات الكربونية ولكنها أكثر دقة وبالتالي أعلى تكلفة منها .

ج المقاومات السلكية Wirewound resistors:

تصنع من عدة لفات من سلك على دليل تشكيل معزول كما موضح في الشكل (٤). وتصنع مواد السلك من سبائك النيكل والكروم التي تستخدم بكثرة بسبب مقاومتها النوعية المرتفعة، ومعامل مقاومتها الحراري المنخفض القيمة.

ولوقاية مكونات المقاومة من تأثيرات الوسط المحيط، تغطى بطبقة واقية من الطلاء الزجاجي أو بخلطة من الرمل والإسمنت. وبعضها يغلف بمبدد حراري من الألمنيوم لتحسين قدرتها على تبديد الحرارة. لاحظ الشكل (٥)، في هذا النوع من المقاومات تكتب قيمة المقاومة بالأوم وقدرتها بالواط مباشرة على جسم المقاومة الحرارية. ويتبع نظام الترميز المحدد في المواصفة القياسية البريطانية BS1852، وسيتم مناقشته لاحقاً.

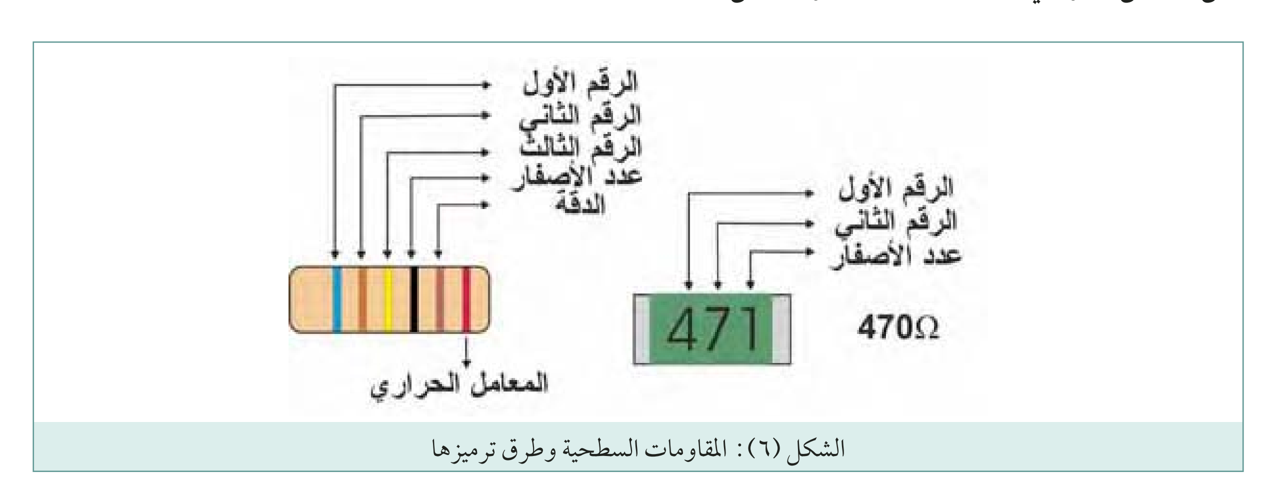


الشكل (٤): تركيب المقاومة السلكية

الشكل (٥): المقاومات السلكية

د المقاومات السطحية Surface Mount Resistors-SM Resistors:

تمتاز بصغر حجمها مما يجعلها ملائمة للوحات المطبوعة عالية الكثافة. وتتوفر بشكلين هما المسطح والأسطواني. المقاومة المسطحة يستخدم في ترميزها نظام ترميز مكون من ثلاث خانات، الخانتين الأولى والثانية تمثلان قيمة المقاومة أما الخانة الثالثة والأخيرة فتمثل المضاعف(عدد الأصفار) كما يظهر الشكل(٦). المقاومة الأسطوانية يستخدم في ترميزها نظام الترميز اللوني الخماسي(سنشرحه لاحقاً) بالأضافة الى حلقة لونية سادسة تمثل المعامل الحراري للمقاومة كما يظهر الشكل(٦).



الشكل (٦): المقاومات السطحية وطرق ترميزها

هـ المقاومات الشبكية Network Resistors:

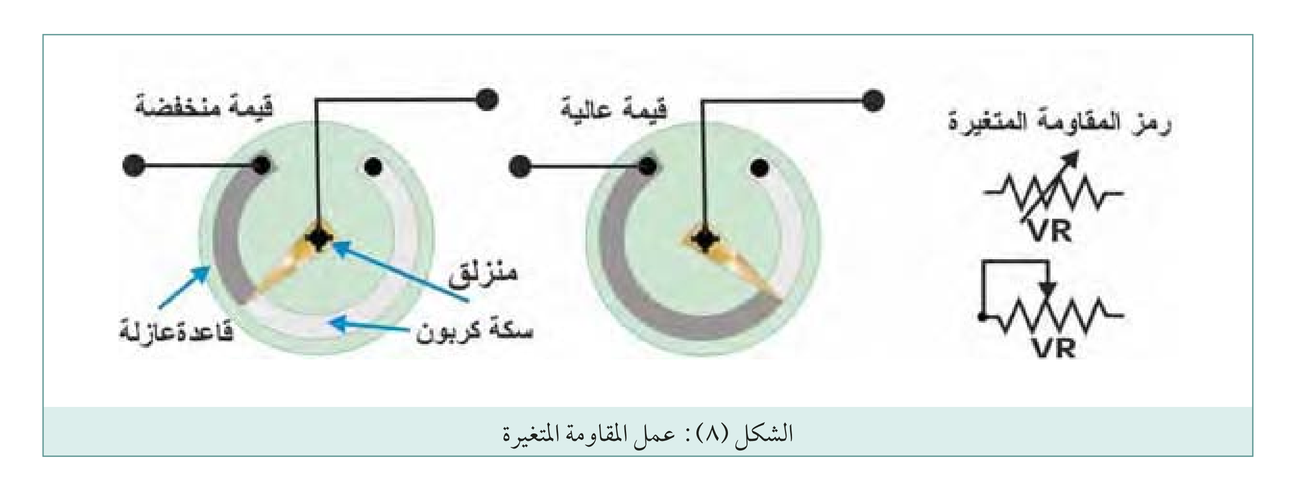
وهي عبارة عن مجموعة من المقاومات المتشابهة يتم تغليفها بغلاف خارجي يشبه اغلفة الدارات المتكاملة، كما هو مبين في الشكل(٧). تستخدم المقاومات الشبكية في الدارات الإلكترونية التي تحوي عدد كبير من المقاومات المتشابهة.



الشكل (٧): المقاومات الشبكية

٢ المقاومات متغيرة القيمة Variable Resistors:

تعتبر مفاتيح التحكم بالصوت في أجهزة الراديو والتلفاز مثال للمقاومات المتغيرة، ويمكن تغيير قيمها بسهولة بتدويرمفاتيحها. وعندما نقول إن مقاومة متغيرة قيمتها (1000) أوم، فهذا يعني أن بإمكاننا الحصول منها على قيم تتراوح بين الصفر و (1000) أوم.



الشكل (٨): عمل المقاومة المتغيرة

للمقاومة المتغيرة ثلاثة أطراف، طرفان يمثلان نهايتي المقاومة تحصل بوساطتهما على قيمة المقاومة الكلية. والطرف الثالث يتصل بجزء منزلق يتحرك فوق عنصر مقاوم تحصل بوساطته مع إحدى النهايتين على قيم مختلفة من المقاومة الكلية، كما موضح في الشكل (٨).

يصنع العنصر المقاوم على شكل سكة(مسار) من الكربون دائرية أو خطية، أو يصنع من سلك ملفوف على قلب عازل. الأنواع الكربونية تلائم القدرات المتدنية (أقل من 1 واط)وهي قليلة الكلفة وتتوفر بقيم تتراوح ما بين 1كيلو أوم و1 ميجا أوم. أما الأنواع الملفوفة الأسلاك فهي تلائم القدرات المتوسطة (3 واط فأكثر) وتتوفر بقيم تتراوح ما بين 10 أوم و 100 كيلو أوم.

تتوفر المقاومات المتغيرة بأحجام صغيرة تستخدم لعمل تعديلات عرضية مثل التدريج أو الضبط. وهي متوفرة بثلاثة أشكال: النوع المفتوح والنوع المغلق ونوع الضبط الدقيق الذي يستخدم عند الحاجة إلى ضبط دقيق جداً حيث سينتج تدوير مفتاح المقاومة عدة دورات تغيراً في قيمةالمقاومة. لاحظ الشكل (٩).

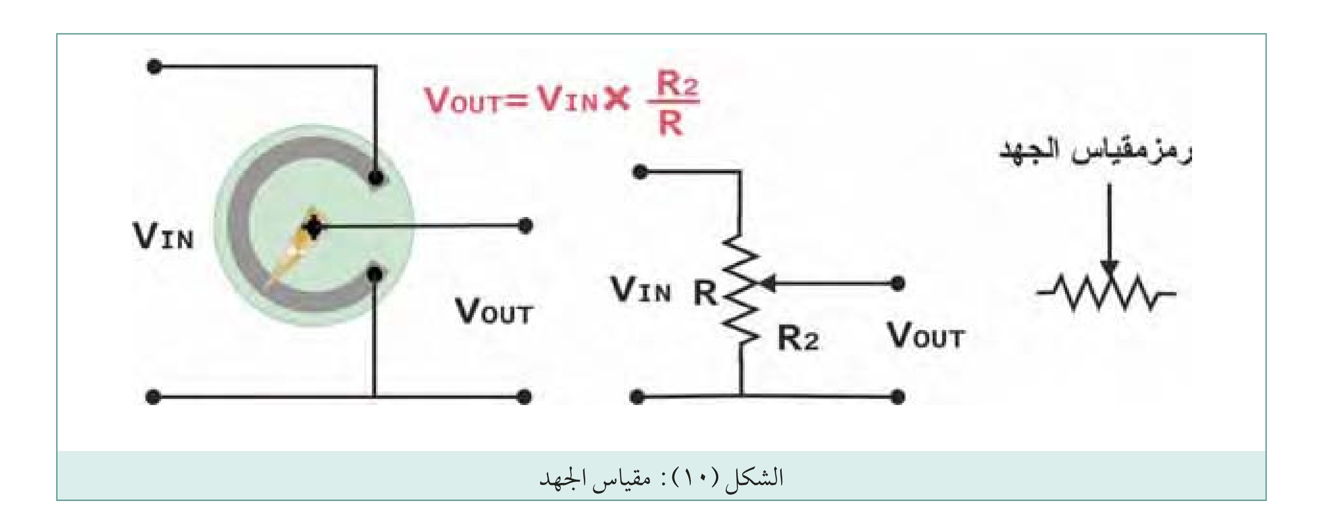


الشكل (٩): المقاومة المتغيرة

يطلق على المقاومة المتغيرة أيضا اسم مقياس الجهد (Potentiometer). مقياس الجهد هو مقسم حيث تتحدد قيمة جهد الخرج(V_{OUT}) بكل من جهد المدخل(V_{IN}) وكذلك حركة المنزلق على مسار الكربون، لاحظ الشكل (١٠). وتتحدد قيمة جهد المخرج في حالة اللاحمل بما يلي:

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \frac{R_2}{R}$$

تتوفر مقاييس(مجزئات)الجهد الكربونية بمسارات خطية(Lin) أو نصف لوغارتمية(Log)، وتستعمل الأخيرة كأدوات للتحكم بالجهارة في الأجهزة السمعية.



الشكل (١٠): مقياس الجهد


الشكل (١١): الثيرمستور

٣ المقاومات الخاصة

تصنع من مواد خاصة وبطرق صنع خاصة لتلائم تطبيقات عملية معينة في الدارات الإلكترونية، ويختلف عملها عن عمل المقاومات العادية. ومن هذه المقاومات:

أ مقاومة الثيرمستور:

وهي المقاومة التي تتغير مقاومتها بشكل ملموس بارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها. لاحظ الشكل (١١)، وتستخدم في دارات الحماية من ارتفاع درجة الحرارة، كما يمكن استخدامها كمجس لدرجة الحرارة في دارات التحكم في أجهزة التدفئة أو التبريد وفي أجهزة قياس درجة الحرارة. ويوجد منها نوعان:

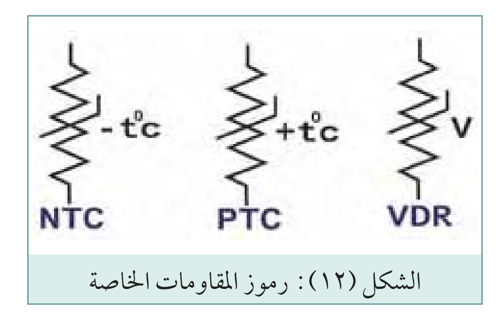
١ مقاومة ذات معامل حراري سالب (NTC) التي تقل قيمتها بارتفاع درجة الحرارة.

٢ مقاومة ذات معامل حراري موجب (PTC) التي تزداد قيمتها بارتفاع درجة الحرارة.

ويظهر الشكل (١٢) رموز هذه المقاومات.

ب مقاومة الفاريستور التابعة للجهد (VDR):

تقل قيمة هذه المقاومة مع ازدياد الجهد المؤثر على أطرافها. وتستخدم أساساً في مجال وقاية المعدات الكهربائية من الارتفاع المفاجئ في الجهد الكهربائي. وتوصل هذه المقاومة على التوازي مع الجهاز المراد وقايته، وعندما يحدث أي ارتفاع مفاجئ للجهد بين طرفي الجهاز، تقل مقاومة الفاريستور لحظياً وتمتص جزءً من الجهد المفاجئ فتنكسر حدته.



الشكل (١٢): رموز المقاومات الخاصة

جـ مقاومة سلكية أو كربونية تعمل كمصهر:

في حالة المقاومة السلكية هناك طرفان ملحومان معاً. لأحدهما خاصية زنبركية، فعندما يتجاوز التيار حده المقرر تسخن هذه المقاومة إلى حد يصهر اللحام على الوصلة فتنفصل ويقطع مرور التيار. وعند إصلاح العطل يمكن إعادة لحام الوصلة. أما في حالة المقاومة الكربونية، فتستخدم مقاومة صغيرة قيمتها أقل من (2) أوم وقدرتها صغيرة أقل من ربع واط. وعندما يتجاوز التيار حده المقرر، تحترق هذه المقاومة، ويمكن استبدالها بعد إصلاح العطل.

د المقاومة المعتمدة على الضوء Light Dependent Resistor-LDR:

المقاومة المعتمدة على الضوء واحدة من أقدم العناصر الكهروضوئية، وهذه المقاومة تتناقص قيمتها بازدياد شدة الضوء الساقط عليها . و تكون قيمة المقاومة المعتمدة على الضوء في الظلام عالية جداً قد تصل إلى أكثر من 2 ميجا أوم ولكن عندما تتعرض للضوء تنخفض مقاومتها إلى بضع مئات من الأوم.

تصنع المقاومات المعتمدة على الضوء من المواد شبه الموصلة الحساسة للضوء مثل كبريتيد الكادميوم (ورمزCdS) وسيلينيد الكادميوم (ورمز CdSe). يبين الشكل (١٣) تركيب المقاومة المعتمدة على الضوء، تشكل طبقة رقيقة من مادة حساسة للضوء على طبقة عازلة من الزجاج أو السيراميك وتزود بطرفي توصيل ثم توضع في غلاف معدني أو بلاستيكي له نافذة زجاجية تسمح بسقوط الضوء على المادة الحساسة للضوء.



الشكل (١٣أ): مقطع لمقاومة ضوئية — الشكل (١٣ب): مقاومة ضوئية — الشكل(١٣جـ): رمز المقاومة الضوئية

للمقاومة المعتمدة على الضوء تطبيقات عديدة في الإلكترونيات فعلى سبيل المثال، تستعمل غالباً في أجهزة الإنذار، والتحكم بالأبواب الآلية، وكاشف اللهب في المراجل، حيث يتطلب الأمر الإحساس بوجود ضوء أو غيابه.

٤ المواصفات الفنية للمقاومات:

المواصفات الفنية للمقاومات التي يجب مراعاتها انتخاب او استبدال مقاومة تالفة في دارة كهربائية ما، هي:

١ **المقاومة**: يعبر عن القيمة المطلوبة بالآم والكيلو أوم أو الميجا أوم.

٢ **القدرة المقدرة**: هي القدرة القصوى التي تبددها المقاومة ، ونأتي بها من المعادلة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \times R$$

٣ **معامل درجة الحرارة**: هو التغير في المقاومة لكل تغير في درجة الحرارة بالوحدة المعتمدة (يعبر عنه عادة بالأجزاء بالمليون).

٤ **الاستقرار**: هو التقلب في قيمة المقاومة الذي يحصل تحت ظروف معينة وعلى مدة معينة من الزمن (يعبر عنه كنسبة مئوية %).

ثالثاً نظم ترميز المقاومات

١ نظم ألوان المقاومات

تكون المقاومات الكربونية والغشائية معلمة برموز لونية تشير إلى قيمتها وتفاوتها(دقتها). وهناك نظامين معتمدين في الترميز اللوني وهما: الترميز اللوني الرباعي والترميز اللوني الخماسي (انظر الشكل ١٤).

نظامي ألوان المقاومات

النظام الرباعي: 5 6 000 %5± — 56000=56KΩ ±5%

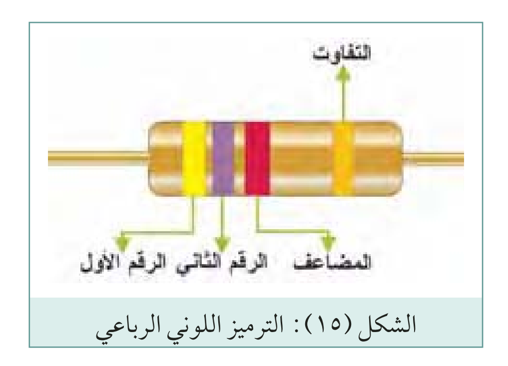
الرقم الأول	الرقم الثاني	الرقم الثالث	عدد الأصفار	نسبة الخطأ
أسود 0	أسود 0	أسود 0	أسود 0	
بني 1	بني 1	بني 1	بني 1	بني %1±
أحمر 2	أحمر 2	أحمر 2	أحمر 2	أحمر %2±
برتقالي 3	برتقالي 3	برتقالي 3	برتقالي 3	
أصفر	أصفر	أصفر	أصفر	
أخضر 5	أخضر 5	أخضر 5	أخضر 5	
أزرق 6	أزرق 6	أزرق 6	أزرق 6	
بنفسجي 7	بنفسجي 7	بنفسجي 7		
رمادي 8	رمادي 8	رمادي 8	ذهبي %5±	ذهبي %5±
أبيض 9	أبيض 9	أبيض 9	فضي %10±	فضي %10±

النظام الخماسي: 4 70 00 %5± — 47000=47KΩ ±5%

الشكل (١٤)

أ الترميز اللوني الرباعي:

تحدد الحلقة الأولى من جهة اليسار الرقم الأول للمقاومة، و تحدد الحلقة الثانية الرقم الثاني للمقاومة، وتحدد الحلقة الثالثة المضاعف العشري (عدد الأصفار)، أما الحلقة الرابعة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في قيمة المقاومة النظرية. لاحظ الشكل (١٥).



الشكل (١٥): الترميز اللوني الرباعي

مـــثـــال ٣

ما قيمة المقاومة المبينة في الشكل (١٥)السابق، مراعياً حساب الحدين الأعلى والأدنى لهذه القيمة.

الحـــــــل

بالنظر الى حلقات الألوان المبينة على جسم المقاومة، يتبين أن:

لون الحلقة الأولى أصفر، ويقابل العدد (4)

لون الحلقة الثانية بنفسجي، ويقابل العدد(7)

لون الحلقة الثالثة أحمر، ويقابل المضاعف (100)

لون الحلقة الرابعة ذهبي، ويقابل نسبة التفاوت ‎± 5%‎

توضع الأرقام بجانب بعضها ويتبين أن:

قيمة المقاومة = 47×100 أوم = 4700 أوم = 4.7 كيلو أوم.

الحد الأعلى للقيمة:

$$4700 + 4700 \times \frac{5}{100} = 4700 + 235 = 4935\ \Omega$$

كيلو أوم. الحد الأدنى للقيمة:

$$4700 - 4700 \times \frac{5}{100} = 4700 - 235 = 465\ \Omega$$

ب الترميز اللوني الخماسي:

كما هو الحال في النظام الرباعي تحدد الحلقة الأولى من جهة اليسار الرقم الأول للمقاومة، وتحدد الحلقة الثانية الرقم الثاني للمقاومة، أما الحلقة الثالثة فتحدد الرفم الثالث للمقاومة، وتحدد الحلقة الرابعة المضاعف العشري (عدد الأصفار)، والحلقة الخامسة والأخيرة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في قيمة المقاومة النظرية. ويوضح المثال المبين في الشكل(١٤) طريقة استخدام هذا النظام لتحديد قيمة المقاومات وتفاوتها.

٢ نظام الرموز BS1852:

وفي هذا النظام يتم تحديد مكان الفاصلة العشرية وكذلك قيمة المضاعف العشري بواسطة الحروف الأبجدية التالية:

وتوضح الأمثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة:

R18 تعني 0.18 أوم.

560R تعني 560 أوم.

2K7تعني 2.7كيلوأوم حيث يستخدم الحرف(K)كمضاعف وفاصلة عشرية.

39K تعني 39كيلو أوم.

1M0تعني 1.0 ميجا أوم. حيث يستخدم الحرف(M)كمضاعف وفاصلة عشرية.

الحرف	التفاوت
F	1%±
G	2%±
J	5%±
K	10%±
M	20%±

الجدول (٤)

ومن ثم يتم إلحاق حرف إضافي للإشارة إلى التفاوت ، لاحظ الجدول (٤).

وتوضح الأمثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة :

R18J تعني 0.18 أوم والتفاوت ±5%

560RK تعني 560 أوم والتفاوت ±10%

٣ القيم المفضلة للمقاومات

تتوفر المقاومات بعدة تسلسلات من القيم العشرية (أي رقم عشرة ومضاعفاته) ، ويكون عدد القيم الموجودة في كل سلسلة محكوماً بالتفاوت المحدد. وليشمل المدى لقيم المقاومة في المقاومات التي يبلغ تفاوتها10% مثلاً، يلزمنا سلسلة القيم العشرية السداسية الأساسية التالية (وتعرف أيضاً بالسلسلة E6) :

1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

وفي التطبيق العملي تتوفر المضاعفات العشرية لهذه القيم . فعلى سبيل المثال يحتوي المدى المعتاد لمضاعفات المقاومة ذات القيمة 2.2 Ω القيم التالية :

2.2,22,220.2.2KΩ,22KΩ,220KΩ,2.2MΩ

القيم الأساسية للسلسلة E12 للمقاومات التي يبلغ تفاوتها 10% هي :

1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2

القيم الأساسية للسلسلة E24 للمقاومات التي يبلغ تفاوتها 5% هي :

1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0

3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1

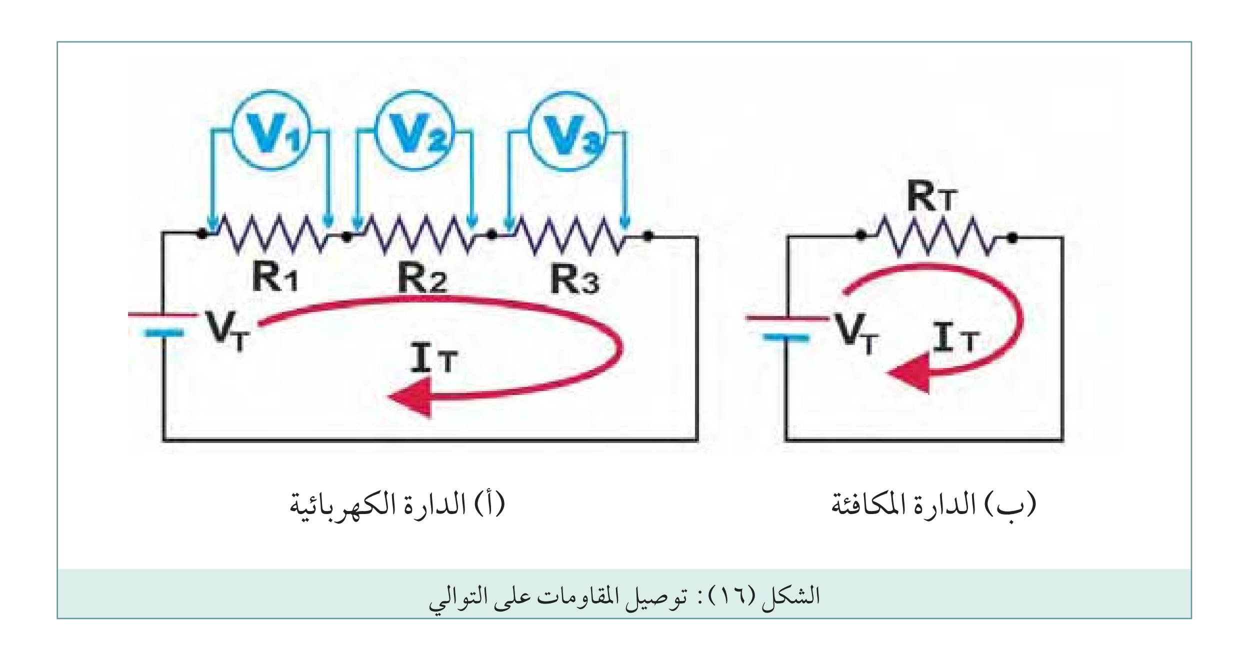
رابعاً توصيل المقاومات

يمكن توصيل المقاومات بطرق ثلاثة هي :

١ التوصيل على التوالي:

يبين الشكل (١٦) ثلاثة مقاومات متصلة ببعضها بحيث أن أحد طرفي المقاومة الأولى موصول بالطرف الأول من المقاومة الثانية، والطرف الثاني من المقاومة الثانية متصل مع الطرف الأول من المقاومة الثالثة . ويلاحظ من الشكل (١٦أ) أنه يوجد في دارات التوالي مسار واحد فقط للتيار، حيث يسري التيار نفسه في جميع المقاومات، وإذا احترقت إحدى المقاومات انقطع التيار عن جميع أجزاء الدارة .

يمكن تبسيط هذه الدارة وذلك بإستبدال المقاومات الثلاث بمقاومة واحدة فقط وهي المقاومة المكافئة (الكلية) كما هو موضح في الشكل (١٦ب)، ويرمز لها بالحرف(R_T)، حيث أن الحرف(T)يأتي كاختصار لكلمة (Total) أي (المجموع الكلي) . ويقصد بالمقاومة المكافئة، المقاومة التي يمكن وضعها في الدارة بدلاً من مجموعة المقاومات دون أن تتغير شدة التيار .



الشكل (١٦): توصيل المقاومات على التوالي

في دارات التوالي يتوزع جهد المصدر (V_T) على المقاومات بتناسب طردي، كل حسب قيمتها كما في الشكل (١٦أ).

هبوط الجهد (فرق الجهد) على المقاومة الأولى: ($V_1 = I_T \times R_1$).

هبوط الجهد على المقاومة الثانية: ($V_2 = I_T \times R_2$).

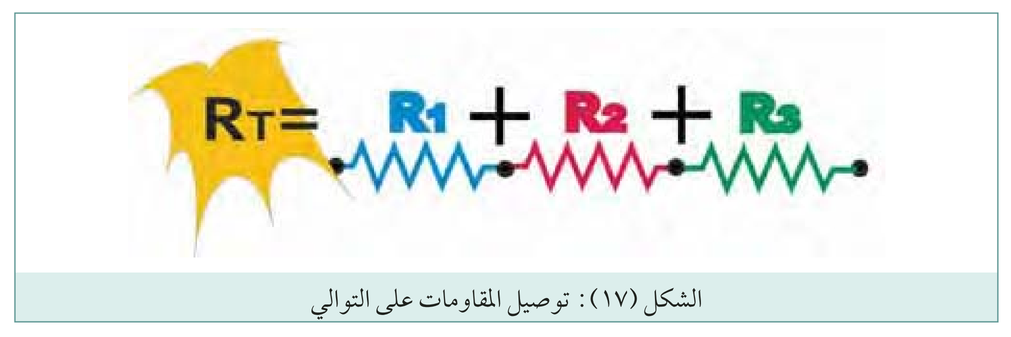
هبوط الجهد على المقاومة الثالثة: ($V_3 = I_T \times R_3$).

ويكون جهد المصدر (V_T)مساوياً للمجموع الجبري لفروق الجهد كما $V_T = V_1 + V_2 + V_3$ وبالتالي:

$$I_T R_T = I_T R_1 + I_T R_2 + I_T R_3$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

وهكذا يتبين أن قيمة المقاومة المكافئة لدارة التوالي تساوي المجموع الجبري للمقاومات الداخلة في تركيب هذه الدارة، لاحظ الشكل (١٧).



الشكل (١٧): توصيل المقاومات على التوالي

وتعتمد قيمة التيار الكهربائي في دارات التوالي على جهد المصدر.(V_T)، والمقاومة المكافئة (R_T) للدارة ويحسب تيار الدارة (I_T)، بناء على قانون أوم على النحو التالي:

التيار = (جهد المصدر ÷ المقاومة المكافئة)

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

مثال ٤

وصلت المقاومات (10)، و(20)، و (30)أوم على التوالي كما مبين في الشكل (١٧)، احسب المقاومة الكلية.

الحل

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$= 10 + 20 + 30$$
$$= 60\ \Omega$$

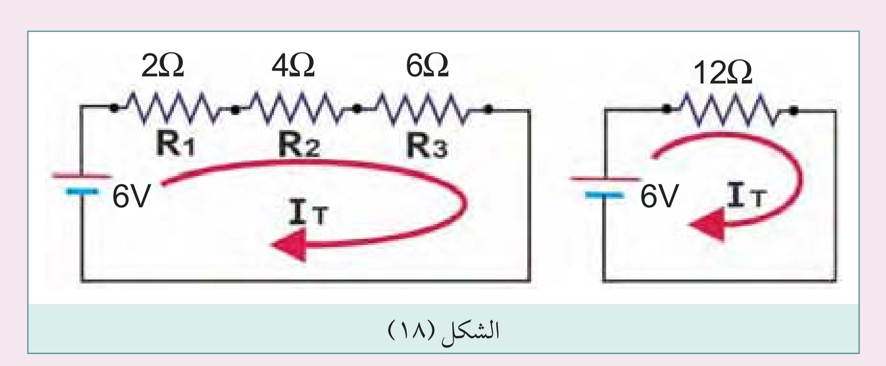
مثال ٥

وصلت ثلاث مقاومات الأولى قيمتها (2) أوم، والثانية قيمتها (4) أوم، والثالثة قيمتها (6) أوم على التوالي بين قطبي بطارية جهدها (6) فولت:

أ ارسم الدارة الكهربائية.
ب احسب المقاومة الكلية.
ج ارسم الدارة المكافئة.
د احسب التيار الكلي.

الحل

أ



الشكل (١٨)

ب المقاومة الكلية: 2 + 4 + 6 = 12 أوم.

ج **الدارة المكافئة**: تبسط الدارة الكهربائية باستبدال المقاومات بمقاومة واحدة فقط وهي المقاومة المكافئة (الكلية) كما موضح في الشكل (١٨/أ) وتسمى هذه الدارة المبسطة.

د التيار الكلي (I_T) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الكلية = 6 ÷ 12 = 0.5 أمبير.

مثـــال ٦

خمسة مصابيح إضاءة متشابهة قدرة كل منها (100) واط، وجهد تشغيلها المقرر (220) فولت.
وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220)فولت، احسب هبوط الجهد على كل مصباح.

الحــــل

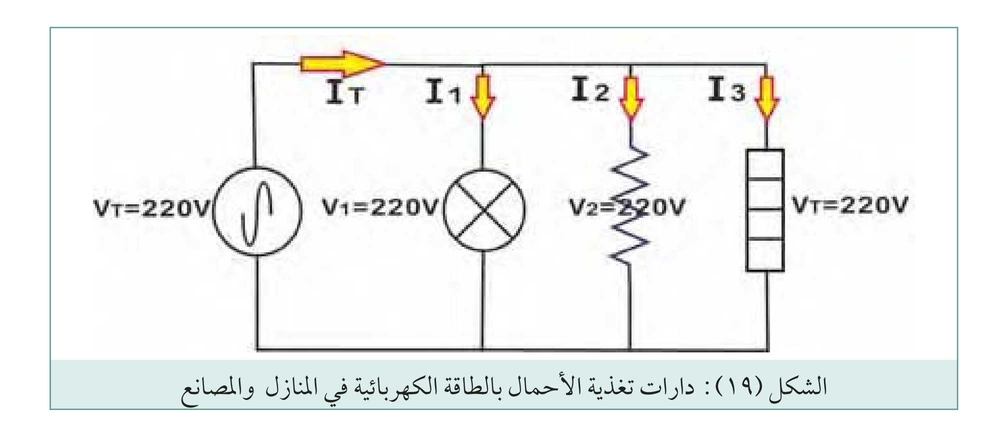
بما أن المصابيح متشابهة وموصولة على التوالي، فإن جهد المصدر سوف يتوزع عليها بالتساوي:

هبوط الجهد على كل مصباح = 220÷5 = 44 فولت

شدة إضاءة هذه المصابيح سوف تكون منخفضة جداً، لأنها لم تحصل على جهد تشغيلها المقرر (220) فولت.

٢ التوصيل على التوازي:

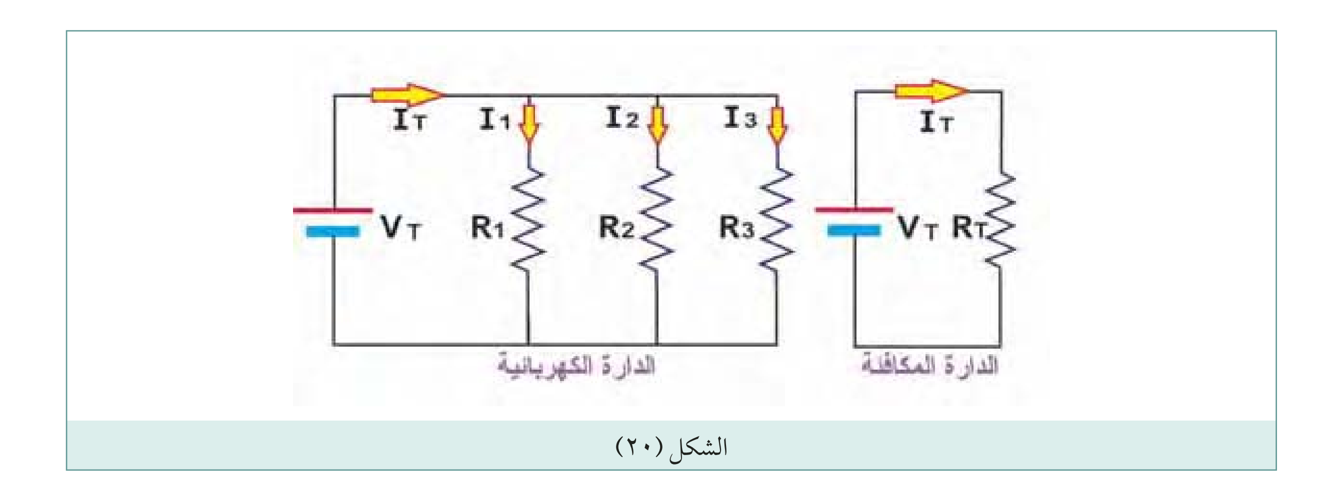
إن دارات تغذية الأحمال الكهربائية بالطاقة الكهربائية في المنازل والمصانع هي مثال لدارات التوازي كما موضح في الشكل (١٩)، حيث توصل الأحمال الكهربائية على التوازي بين طرفي المصدر الرئيسي للطاقة الكهربائية (220) فولت. ويوصل كل حمل كهربائي بالمصدر بوساطة خطين هما خط الفاز والخط المتعادل (النيوترول)، وبهذا يحصل كل حمل كهربائي على جهد المصدر الرئيس أي (220) فولت.



الشكل (١٩): دارات تغذية الأحمال بالطاقة الكهربائية في المنازل والمصانع

يبين الشكل (٢٠) ثلاثة مقاومات موصولة على التوازي بين طرفي مصدر رئيسي للطاقة الكهربائية (V_T) وهكذا تحصل كل مقاومة على جهد المصدر فيكون:

جهد المصدر = جهد المقاومة الأولى = جهد المقاومة الثانية = جهد المقاومة الثالثة



الشكل (٢٠)

كما ويتوزع تيار المصدر في دارات التوازي على المقاومات المكونة للدارات بتناسب عكسي حسب قيمتها كما في الشكل(٢٠) . وباستخدام قانون أوم يكون :

- تيار المقاومة الأول (I_1) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الأولى

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1}$$

- تيار المقاومة الثانية (I_2) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الثانية

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2}$$

- تيار المقاومة الثالثة (I_3) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الثالثة

$$I_3 = \frac{V_T}{R_3}$$

- تيار المقاومة الرابعة (I_4) = الجهد الكلي ÷ المقاومة الرابعة

$$I_4 = \frac{V_T}{R_4}$$

وتعتمد قيمة تيار المصدر (الكلي) في دارات التوازي على جهد المصدر (V_T) والمقاومة المكافئة (الكلية) للدارة. تيار المصدر (I_T) يساوي مجموع التيارات الفرعية :

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$\frac{V_T}{R_T} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

وبمعنى آخر، تتساوى قيمة مقلوب المقاومة المكافئة لدارة التوازي مع حاصل جمع معكوسات المقاومات الموصولة. وينتج عن ذلك أن تقل قيمة المقاومة المكافئة لدارة التوازي عن أصغر قيمة لأي من هذه المقاومات. وهناك حالتين خاصتين:

أ عند توصيل مجموعة من المقاومات المتشابهة وعددها (N) على التوازي، ومقاومة كل واحدة (R)، فإن المقاومة المكافئة:

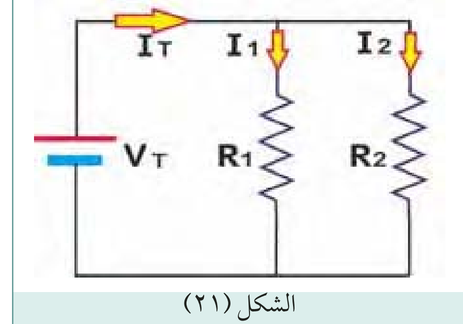
$$R_T = \frac{R}{N}$$

ويتوزع تيار المصدر عليها بالتساوي.

ب عند توصيل مقاومتين على التوازي، كما في الشكل (٢١) فإن:

المقاومة المكافئة = حاصل ضرب قيم المقاومتين ÷ حاصل جمع قيم المقاومتين، أي أن:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



الشكل (٢١)

مثال ٧

وصلت المقاومتين (60) و(40) أوم على التوازي، احسب المقاومة الكهربائية؟

الحل

بما أن الدارة تحتوي على مقاومتين فقط، يمكن استخدام المعادلة:

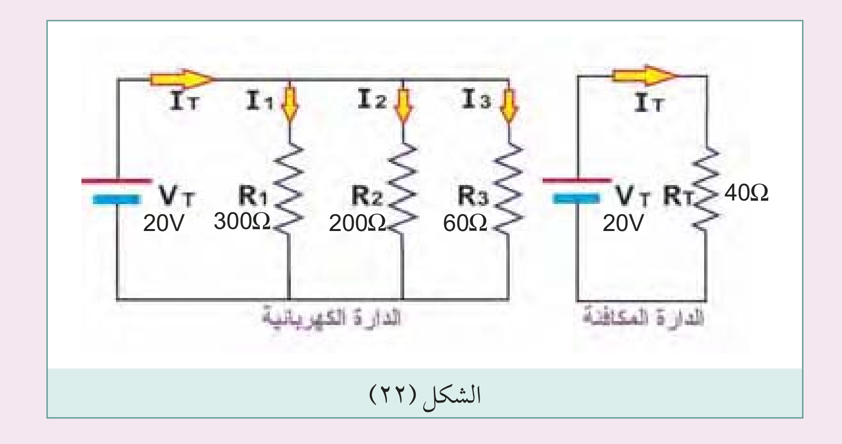
$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \times 40}{60 + 40} = 24\Omega$$

مثال ٨

وصلت المقاومات (R_1) = 300 أوم، (R_2) = 200 أوم، (R_3) = 60 أوم على التوازي كما في الشكل (٢٢)، احسب:

أ المقاومة الكلية.

ب التيار الكلي، والتيار عبر كل مقاومة، إذا وصلت المجموعة بين طرفي مصدر جهد (20) فولت.



الشكل (٢٢)

الحـــــــل

أ المقاومة الكلية $= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{300} + \frac{1}{200} + \frac{1}{60}$

تتطلب عملية جمع هذه الكسور توحيد مقاماتها، والمضاعف المشترك الأصغر في هذه الحالة يساوي (600)، فإذن:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{2}{600} + \frac{3}{600} + \frac{10}{600} = \frac{15}{600}$$

وبقلب شقي هذه المعادلة نحصل على:

$$R_T = \frac{600}{15} = 40\Omega$$

ب التيار الكلي:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{220}{40} = 5.5A$$

ج التيارات الفرعية:

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1} = \frac{220}{300} = 0.73A$$

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2} = \frac{220}{200} = 1.1A$$

$$I_3 = \frac{V_T}{R_3} = \frac{220}{60} = 3.67A$$

مـــثـــــال ٩

أربع مقاومات متساوية مقدار كل منها (200) أوم موصولة على التوازي، احسب المقاومةالكلية.

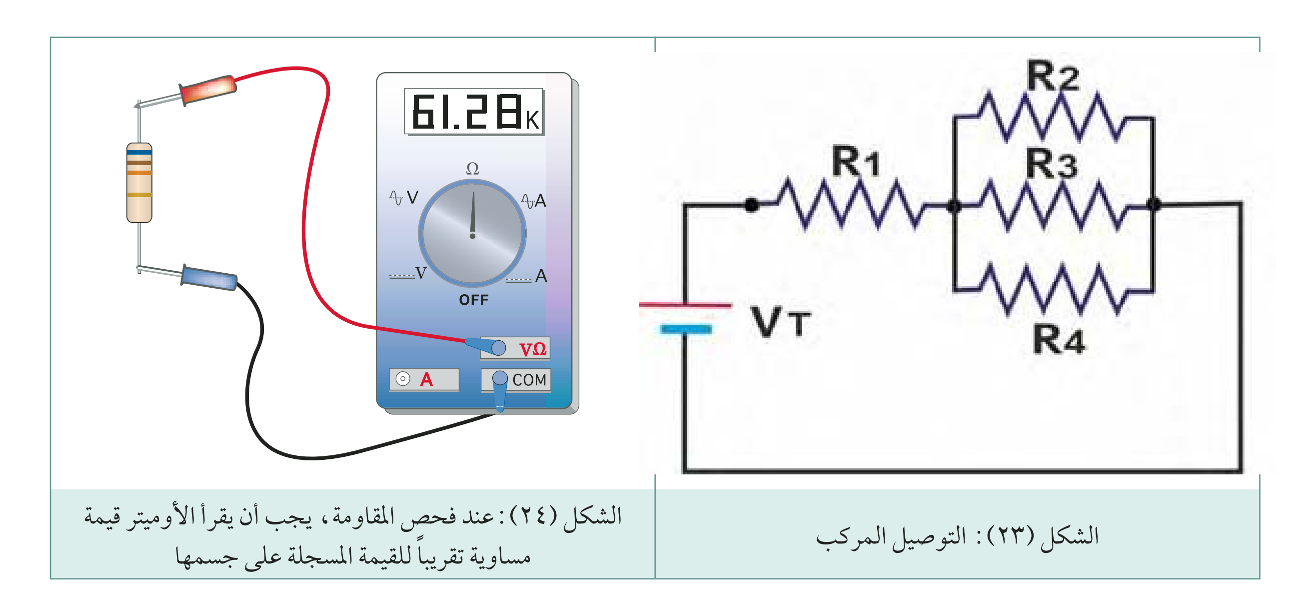
الحـــــــل

بما أن المقاومات متساوية يمكن استخدام المعادلة:

$$R_T = \frac{R}{N} = \frac{200}{4} = 50\Omega$$

٣ التوصيل المركب:

يمكن الجمع بين التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي كما موضح في الشكل (٢٣)، وفيه المقاومات (R_2)، (R_3)، (R_4) موصولة على التوازي، وهذه المجموعة موصولة على التوالي مع المقاومة (R_1). وفي حالة المزج بين توصيل التوالي والتوازي في دارة ما، فإن ذلك يعرف بالتوصيل المركب.



الشكل (٢٣): التوصيل المركب

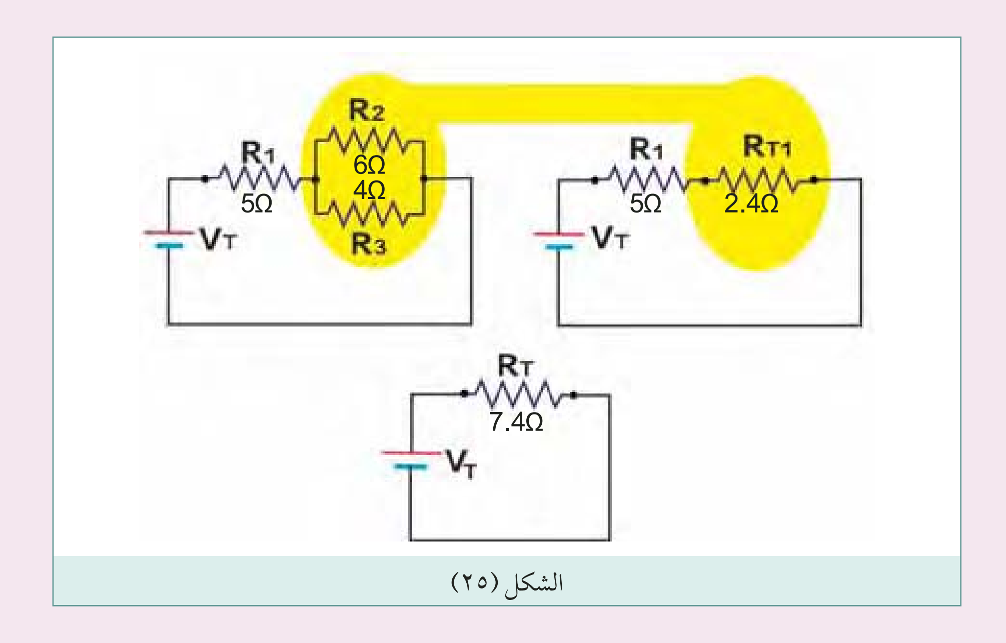
الشكل (٢٤): عند فحص المقاومة، يجب أن يقرأ الأوميتر قيمة مساوية تقريباً للقيمة المسجلة على جسمها

خامساً أعطال المقاومات

تتعطل المقاومة عادة نتيجة زيادة التيار المار عبرها عن الحد المسموح به، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها إلى الحد الذي ينقطع معه السلك المكون للمقاومة السلكية أو تتفتت المقاومة الكربونية. ينتج من تعطل المقاومة دارة مفتوحة في مكانها، ويتم اكتشاف عطل المقاومة بقياس قيمتها باستخدام الأوميتر، بعد فصل مصدر التغذية عن الدارة وفصل أحد أطراف المقاومة. وهناك عطل آخر يسمى تغير القيمة نتيجة للاستعمال المتكرر، حيث ترتفع قيمة المقاومة دون أن تحترق. يجب استبدال المقاومة التالفة بأخرى لها نفس المواصفات من حيث القيمة بالأوم والقدرة الأقصوى بالواط.

مثال ١٠

احسب المقاومة الكلية للدارة الكهربائية المبينة في الشكل (٢٥).



الشكل (٢٥)

الحل

يتطلب إيجاد المقاومة الكلية لهذه الدارة العمل على مراحل:

الخطوة الأولى: بما أن المقاومتين (R_2 و R_3) موصولتان على التوازي، يمكن دمجهما في مقاومة مكافئة (R_{T1}):

$$R_{T1} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \times 4}{6 + 4} = 2.4\Omega$$

الخطوة الثانية: بما أن المقاوماتين (R_{T1} و R_1) موصولتان على التوالي، يمكن أن يجمعا في مقاومة مكافئة (R_T):

$$R_T = R_1 + R_{T1}$$
$$= 5 + 2.4$$
$$= 7.4\ \Omega$$

أسئلة الدرس:

١ المقاومة الكهربائية هي : .... وتقاس بوحدة : ....

٢ تعتمد مقاومة موصل ما على أربعة عوامل هي : ....

٣ المقاومة النوعية للمادة هي...

٤ تقاس المقاومة النوعية بوحدة : ....

٥ العلاقة التي تستخدم في حساب مقاومة الموصل بدلالة أبعاده ونوع مادته هي : ....

٦ سلك من النحاس طوله (80) متر ، المقاومة النوعية للنحاس (0.0178) أوم متر . احسب مقاومة السلك إذا كانت :

أ مساحة مقطعه (1,5) مم^2 . ب مساحة مقطعه (2,5) مم^2 .

قارن الإجابتين واكتب ملاحظاتك .

٧ المعامل الحراري يعرف بأنه : ....

٨ مقاومة الأسلاك الكهربائية غير مرغوب فيها لأنها تسبب :

أ .... ب ....

٩ اذا سرى في موصل تيار اكبر من تياره المقرر فإن ذلك يؤدي إلى : ....

١٠ أنواع المقاومات الثابتة هي:

أ .... ب .... ج ....

١١ ارسم تركيب ورموز المقاومات التالية :

أ الكربونية . ب السلكية . ج المتغيرة .

١٢ ماذا نعني بالاختصارات التالية:

أ (PTC) : ....

ب (NTC) : ....

ج (VDR) : ....

١٣ اذكر استخدامات المقاومات التالية :

أ (PTC) : ....

ب (NTC) : ....

ج (VDR) : ....

د المقاومة الكربونية كمصهر : ....

١٤ مقاومة متغيرة 1000أوم، ارسم كيفية توصيلها للحصول على مقاومة متغيرة من صفر إلى (1000) أوم .

١٥ أين تستخدم أسلاك أكبر سمك في التمديدات الكهربائية . في الخطوط الرئيسة أم الفرعية؟ ولماذا؟

١٦ مقاومة كربونية عليها أربع حلقات لونية هي على الترتيب أصفر ، بنفسجي ، أحمر ، فضي . ما قيمة هذه المقاومة ؟ ما قيمة السماح فيها؟

١٧ مقاومة كربونية عليها أربع حلقات لونية هي على الترتيب : أحمر ، أحمر ، ذهبي ، ذهبي ، ما قيمة هذه المقاومة؟ ما قيمة السماح فيها .

١٨ وصلت المقاومات (20)، و(25)، و(35) أوم على التوالي، ارسم الدارة الكهربائية وأحسب المقاومة الكلية للدارة .

١٩ ثلاثة سخانات وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت، R1=12Ω ، R2=18Ω ، R3=15Ω المطلوب :

أ ارسم الدارة الكهربائية .

ب أحسب المقاومة المكافئة (الكلية) .

ج ارسم الدارة المكافئة .

د احسب التيار المار في الدارة .

هـ احسب هبوط الجهد على كل سخان .

٢٠ علل : المصابيح الموصولة على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت تكون شدة إضاءتها منخفضة .

٢١ أربعة مصابيح اضاءة متشابهة (220فولت/ 100واط) مقاومة كل منها (484) أوم وصلت على التوالي بين طرفي مصدر (220) فولت ، المطلوب :

أ ارسم الدارة الكهربائية .

ب احسب المقاومة المكافئة

ج احسب التيار المار عبر المصابيح .

د هبوط الجهد على كل مصباح

هـ القدرة الحقيقية لكل مصباح (التيار المار في المصباح × هبوط الجهد على المصباح)

٢٢ وصلت المقاومات (30)، و(60)، و(120) أوم على التوازي ارسم الدارة الكهربائية واحسب المقاومة المكافئة .

٢٣ وصلت المقاومتين (12) و(8) أوم على التوازي ارسم الدارة الكهربائية واحسب المقاومة المكافئة .

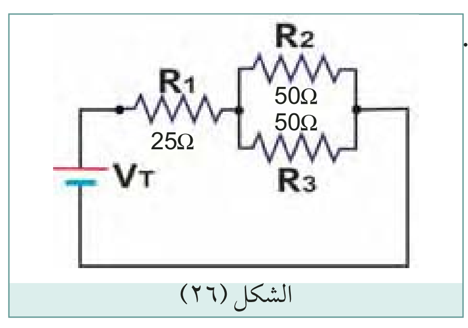
٢٤ حبل زينة يحتوي على عشرين مصباح ملون متشابهة مقاومة كل منها (100) أوم المطلوب :

أ احسب المقاومة المكافئة .

ب احسب قيمة التيار الكلي وقيمة التيار المار في كل مصباح إذا كان جهد المصدر (220) فولت .

٢٥ علل : في المنازل والمصانع توصل الأجهزة الكهربائية على التوازي بين طرفي المصدر الرئيسي .

٢٦ في الدارة المبينة في الشكل (٢٦) ، احسب المقاومة المكافئة .



الشكل (٢٦)

٢٨ كيف تجهز مقاومة قيمتها (50) أوم، إذا توفرت مجموعة مقاومات قيمة كل منها (120) أوم، ومقاومة أخرى قيمتها (10) أوم .

قانون أوم

تعتمد قيم الجهد والتيار والمقاومة في الدارة الكهربائية على بعضها البعض، وقانون أوم هو القانون الذي يوضح العلاقة التي تربط الوحدات الكهربائية الثلاثة المذكورة أعلاه. ولقد سمي بهذا الاسم نسبة إلى العالم الألماني جورج أوم الذي اكتشف هذه العلاقة. وينص على ما يلي: "تتناسب شدة التيار المار في موصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفي الموصل وعكسياً مع مقاومته".

إن البطارية أو المولد هو مصدر الجهد في الدارة الكهربائية. والجهد هو القوة التي تسبب سريان التيار الكهربائي. وبناء عليه، كلما زاد الجهد زاد التيار، وكلما قل الجهد قل التيار، بفرض أن قيمة المقاومة ثابتة. وبإفتراض أن الجهد ثابت، فإن وجود مقاومة عالية يؤدي إلى مرور تيار منخفض، وبالعكس فإن وجود مقاومة منخفضة يؤدي إلى مرور تيار مرتفع.

١ حساب قانون أوم

هناك ثلاثة أشكال حسابية لقانون أوم وهي:

أ التيار:

التيار = الجهد ÷ المقاومة $I = \frac{V}{R}$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة التيار بدلالة الجهد والمقاومة. وتنص (هذه العلاقة) على أن قيمة التيار تساوي قيمة الجهد مقسومة على قيمة المقاومة.

ب المقاومة:

المقاومة = الجهد ÷ التيار $R = \frac{V}{I}$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة المقاومة بدلالة الجهد والتيار. وتنص (هذه العلاقة) على أن قيمة المقاومة تساوي قيمة الجهد مقسومة على قيمة التيار.

جـ الجهد:

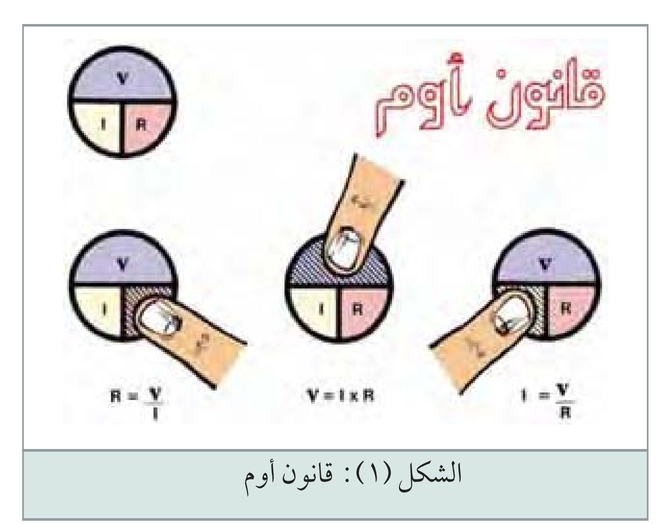
الجهد = المقاومة × التيار $V = R\,I$

تستخدم هذه العلاقة لإيجاد قيمة الجهد بدلالة التيار والمقاومة. وتنص على أن قيمة الجهد بين طرفي أي مقاومة تساوي حاصل ضرب قيمة التيار المار عبر المقاومة في قيمة المقاومة.

٢ دائرة قانون أوم

إن أسهل طريقة لتذكر العلاقة بين الجهد والتيار والمقاومة هي استخدام دائرة قانون أوم المبينة في الشكل (١).

لاستخدام دائرة قانون أوم، غط إصبعك قيمة الوحدة المجهولة، فتظهر العلاقة المطلوبة لحساب القيمة المجهولة كما هو موضح في الشكل (١).



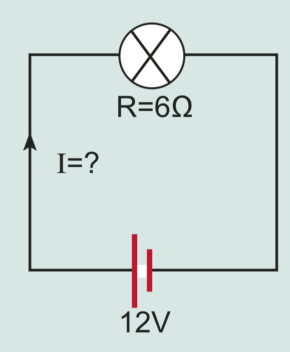
الشكل (١): قانون أوم

مثال (١):

مصباح سيارة يعمل ببطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12) فولت. فإذا كانت مقاومة المصباح(6) أوم، احسب شدة التيار المار في هذا المصباح؟

الحل:

ترسم الدارة الكهربائية، وتسجل معطياتها.



الجهد = (12) **فولت** (V=12)

المقاومة = (6) **أوم** (R= 6)

التيار = (؟) **أمبير** (I = ?)

تكتب العلاقة المطلوبة بالاستعانة بدائرة قانون أوم، إذا لزم.

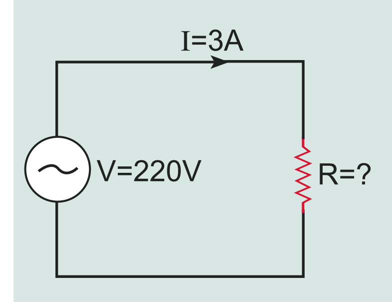
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12}{6} = 2A$$

مثال (٢) :

سخان إذابة ثلج يعمل من مصدر جهد (220)فولت ويسحب تياراً مقداره (3) أمبير جد مقاومة السخان؟

الحل :



ترسم الدارة الكهربائية، وتسجل معطياتها .

الجهد = (220) **فولت** (V=220)

التيار = (3)**أمبير** (I = 3 A)

المقاومة = **(؟) أوم** (R = ?)

تكتب العلاقة المطلوبة بالاستعانة دائرة قانون أوم، إذا لزم .

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220}{3} = 73\ \Omega$$

أسئلة الدرس الرابع

١ أذكر نص قانون أوم؟

٢ ماذا يحدث عند تعريض مصباح كهربائي لجهد أعلى من جهده المقرر؟ ولماذا؟

٣ ماذا يحدث عند تعريض مصباح كهربائي لجهد أقل من جهده المقرر؟ ولماذا؟

٤ مصباح سيارة مقاومته(4) أوم يعمل من بطارية (12) فولت . ارسم الدارات الكهربائية واحسب شدة التيار المار في المصباح .

٥ سخان إذابة ثلج مقاومته (80)أوم يعمل من مصدر جهد متردد (220) فولت . ارسم الدارة الكهربائية واحسب شدة التيار المار في السخان .

٦ مقاومة قيمتها (6)أوم، يسري عبرها تيار شدته أمبير . أرسم الدارة الكهربائية واحسب فرق الجهد بين طرفي المقاومة .

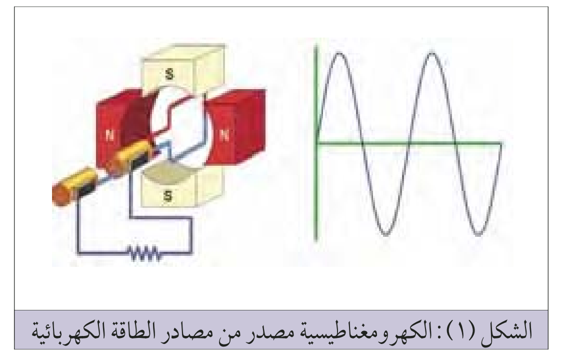
الطاقة والقدرة الكهربائية

الكهرباء هي أحد أشكال الطاقة. وكما هو معروف، فإن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وإنما تتحول من شكل إلى آخر. ويمكن إنتاج الطاقة الكهربائية بتحويل مختلف أشكال الطاقة الميكانيكية والكيميائية والضوئية والحرارية إلى طاقة كهربائية. كما تستخدم الأجهزة الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة المفيدة مثل الطاقة الحرارية، والضوئية، والميكانيكية، والكيميائية.

١ توليد الطاقة الكهربائية

تعتبر المولدات الكهربائية من أهم مصادر الطاقة الكهربائية، وتعتمد في عملها على ظاهرة التأثير الكهرومغناطيسي، حيث تدور الموصلات (ملفات المولد) داخل مجال مغناطيسي فتتولد فيها بالتأثير قوة دافعة كهربائية، كما موضح في "الش

في محطا ... دم
الفحم أو البترو ... ار
ماء ذو ضغط
يستعمل في تش
ضخمة تقوم بدو
كهربائية . كما
الصغيرة والمتوسطة بوساطة محركات الديزل. أما في محطات توليد الطاقة الكهربائية الحركية فتستخدم الهواء أو الماء.



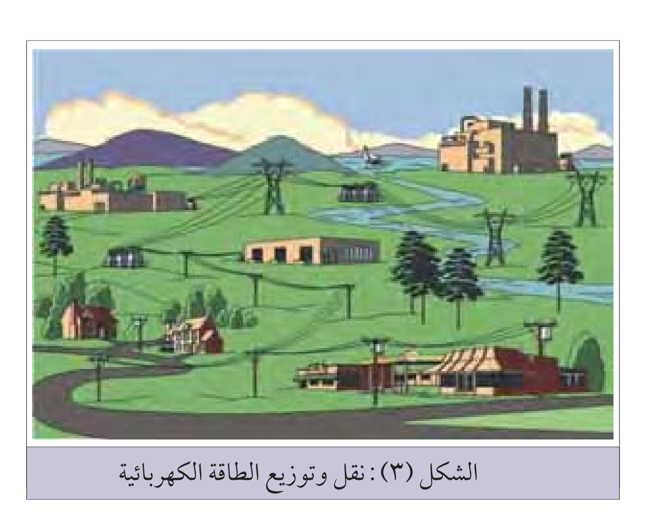
الشكل (١): الكهرومغناطيسية مصدر من مصادر الطاقة الكهربائية

الشكل(٢): الأجزاء الأساسية لمحطات توليد الطاقة الكهربائية.

٢ نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

تنقل الطاقة الكهربائية من محطة توليد الطاقة الكهربائية إلى المستهلك بوساطة خطوط أو موصلات يطلق عليها شبكات النقل والتوزيع الكهربائية. ويبين الشكل (٣) رسماً تصويرياً لإحدى هذه الشبكات، والتي تبدأ من محطة توليد القدرة الكهربائية وتنتهي بالمستهلك.

وتحتوي شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية على :



الشكل (٣) : نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

أ توربينات مائية أو بخارية تعمل على تشغيل المولدات .

ب مولدات كهربائية تنتج جهداً يتراوح بين (6-10) كيلو فولت .

ج محولات ترفع الجهد إلى (33) كيلو فولت ، أو (132) كيلو فولت، أو أكثر . يتم رفع الجهد وخفض التيار وذلك لتخفيض القدرة المفقودة في خطوط النقل ، بالإضافة إلى تقليل هبوط الجهد في الأسلاك وتقليل التكلفة عن طريق استخدام أسلاك ذات مساحة مقطع أصغر .

د خطوط الضغط العالي الهوائية التي تنقل الطاقة الكهربائية عبر المناطق الريفية إلى المدن والمراكز الصناعية .

هـ محطات فرعية تحتوي على محولات تخفض الجهد المرتفع إلى جهد متوسط يتراوح من (6-15) كيلو فولت .

و خطوط جهد متوسط تنقل الطاقة الكهربائية عبر شوارع المدن والمراكز الصناعية .

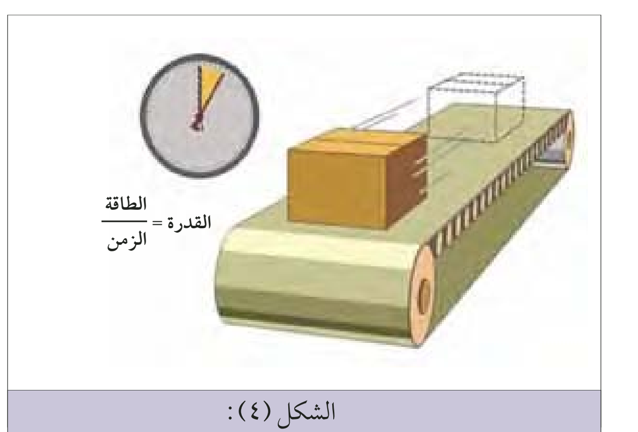
ز محولات تخفض الجهد المتوسط إلى جهد منخفض ، أي إلى (220) فولت أو (380) فولت .

ح كيبلات أرضية أو هوائية تزود المستهلك بالجهد المنخفض .

٣ القدرة الكهربائية (Electical Power)

في الشكل(٤)يبذل محرك حزام النقل شغل في نقل الصندوق من نقطة إلى أخرى على امتداد خط النقل . وتعطى قيمة الشغل المبذول في تحريك جسم ما بالعلاقة التالية يقاس الشغل بوحدة النيوتن . متر وتسمى أيضاً " الجول " وهي نفس الوحدة المستخدمة لقياس الطاقة .

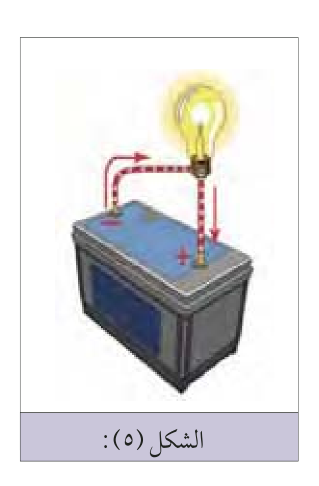
$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$$



الشكل (٤) :

أما القدرة فهي المعدل الذي يتم به بذل الشغل ، أي مقدار الشغل المبذول في الثانية الواحدة :

وحدة قياس القدرة هي " الجول في الثانية " ، وتسمى أيضاً " الواط " تكريماً للعالم " جيمس واط " مخترع الآلة البخارية ، ويرمز للواط بالحرف (W) .



الشكل (٥):

في الدارة الكهربائية يبذل مصدر الجهد شغلاً (طاقة) في تحريك الإلكترونات (التيار) عبر أجزاء الدارة. ويسمى معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في دفع التيار الكهربائي عبر أجزاء الدارة القدرة الكهربائية، ويرمز لها بالحرف (P) وتقاس بوحدة الواط. وبما أن الجهد يمثل القوة والتيار يمثل الحركة فأن القدرة الكهربائية تساوي حاصل ضرب التيار بالجهد:

القدرة = التيار x الجهد

$$P = I \times V$$

حيث أن:

P: القدرة بالواط

I : شدة التيار بالأمبير

V: الجهد بالفولت

وبما أن الواط وحدة صغيرة فإنها لا تلائم كافة التطبيقات العملية. لذلك يستخدم الكيلو واط كوحدة عملية لقياس القدرة، وهو يساوي (1000) واط، ويرمز له بالحرفين (KW).

مثال (١):

مسخن كهربائي جهده (220) فولت، يسحب تياراً مقداره (5) أمبير. احسب قدرة المسخن بالواط، والكيلو واط.

الحل:

القدرة = التيار × الجهد

القدرة بالواط = 5 × 220 = 1100 واط

القدرة بالكيلو واط = 1100 ÷ 1000 = 1.1 كيلو واط

يسجل عادة على لوحة مواصفات الأجهزة الكهربائية، القدرة وجهد التشغيل المقرر لها. وقد يكون من المرغوب فيه معرفة قيمة التيار الذي يسحبه الجهاز ليتسنى لنا على سبيل المثال، تقدير مقاس أسلاك التوصيل، وتيار المنصهر أو القاطع التلقائي اللازم لحماية هذا الجهاز. ويمكن حساب قيمة التيار بدلالة القدرة والجهد للأحمال الأومية كالسخانات الكهربائية بالعلاقة التالية:

$$\text{التيار} = \frac{\text{القدرة}}{\text{الجهد}}$$

مثال (٢) :

فرن كهربائي قدرته (5) كيلو واط ، يعمل بجهد (220) فولت . احسب شدة التيار الذي يسحبه الفرن .

الحل :

الجهد = (220) فولت

القدرة = (5) كيلو واط = (5000) واط

التيار = (؟)

التيار = القدرة ÷ الجهد

التيار = 5000 ÷ 220 = 22.7 أمبير

تبدد القدرة الكهربائية بشكل حرارة في الموصلات والمقاومات والعناصر الإلكترونية الأخرى . وفي بعض الأحيان تكون هذه الحرارة مفيدة كما في المسخنات والأفران الكهربائية . ولكنها قد تكون غير مفيدة في العديد من الأجهزة الأخرى، بل وربما تكون ضارة، كما في الموصلات والمحركات والمحولات والعناصر الإلكترونية .

ويمكن دمج قانون أوم($V = IR$) وقانون القدرة الأساسي($P = IV$) لإيجاد علاقة تعبر عن القدرة المبددة في المقاومة بشكل مباشر . وهناك شكلين لهذه العلاقة، هما :

١- القدرة بدلالة التيار والمقاومة :

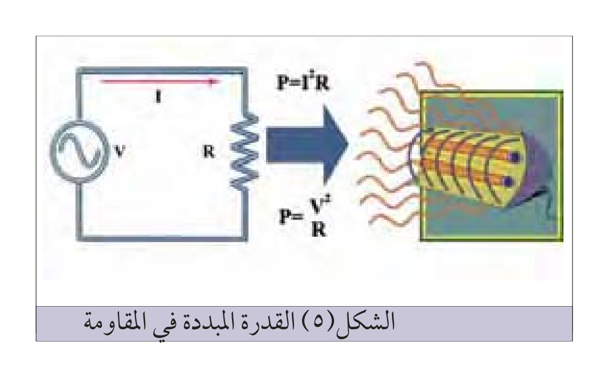
القدرة = مربع التيار × المقاومة

$$P = I^2 \times V$$

ب-القدرة بدلالة الجهد والمقاومة :

القدرة = مربع الجهد ÷ المقاومة

$$P = \frac{V^2}{R}$$



الشكل(٥) القدرة المبددة في المقاومة

مثال (٣) :

مصباح كهربائي مقاومته (484) أوم، وجهده (220) فولت . احسب قدرته .

الحل : المقاومة = (484) أوم

الجهد = (220) فولت

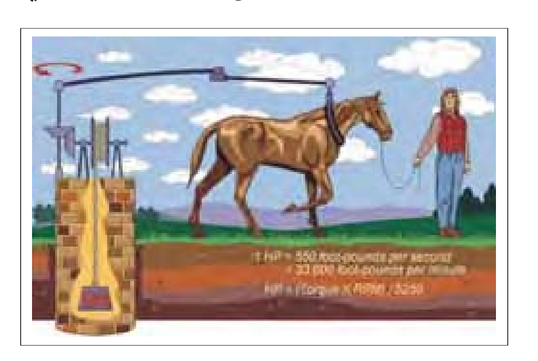
القدرة = (؟)

القدرة = مربع الجهد ÷ المقاومة

القدرة = (220 × 220) ÷ 484 = 100 واط

القدرة الحصان (Horse Power)

تعطى قدرة المحركات والمضخات الكهربائية في بعض الأحيان بوحدة الحصان الميكانيكي، وهي تعادل (746) واط، ويرمز لها بالحرفين (HP). وقد وضعت هذه الوحدة لقياس القدرة من قبل جيمس واط الذي كان يعمل في مجال تصنيع المحركات البخارية، وكان دائماً يسأل (كم حصان يكافئ هذا المحرك)، ونتيجة لتجاربه الكثيرة التي استنتج فيها أن الحصان إذا ركض حول دولاب لرفع ثقل لمدة مناسبة من الزمن، فمعدل ما ينجزه من قدرة مقدارها 746 واط. ومن المناسب أن تتذكر بأن الحصان الواحد يساوي (4\3) كيلو واط تقريباً.



٤ الطاقة الكهربائية المستهلكة (Electical Energy)

تحسب الطاقة الكهربائية المستهلكة بمعرفة قدرة الأجهزة الكهربائية وزمن استخدامها، حيث أن:

الطاقة = القدرة × الزمن

حيث تقدر الطاقة بالكيلو واط. ساعة (KWh)، والقدرة بالكيلو واط، والزمن بالساعة.

وتحتوي لوحة التوزيع الرئيسة في المنازل والمصانع على عداد لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة والتي يحاسب بناء عليها المستهلك، لاحظ الشكل(٦). والأجهزة الكهربائية الأكثر استهلاكاً لطاقة الكهربائية هي الأجهزة ذات القدرة العالية مثل أجهزة التسخين والتدفئة وتكيف الهواء. والجدول التالي يوضح قدرة بعض الأجهزة الشائعة الاستخدام في الحياة العملية:



الشكل (٦)جهاز قياس الطاقة الكهربائية

الجهاز	القدرة
مصابيح الإضاءة	تتوفر بقدرات مختلفة تتراوح من10 واط إلى 100واط
المكاوي الكهربائية	2000-1000 واط
الثلاجة المنزلية	300واط
المدفئة الكهربائية	2200 واط
الأفران الكهربائية	3000 واط
جهاز التلفزيون	80 واط

مثال (٤) :

مدفأة كهربائية قدرتها (2) كيلو واط ، تعمل لمدة (8) ساعات . احسب الطاقة الكهربائية المستهلكة في هذه الفترة وتكاليفها إذا كان سعر الكيلو واط . ساعة(30) فلساً .

الحل :

قدرة المدفأة =(2) كيلو واط .

زمن العمل = (8)ساعات

سعر الكيلو واط . ساعة = (30) فلساً

الطاقة المستهلكة = (؟) كيلو واط . ساعة

تكاليف الاستهلاك = (؟) فلساً

الطاقة المستهلكة (كيلوواط . ساعة) = القدرة × الزمن

الطاقة المستهلكة (كيلو واط . ساعة) = 2 × 8 = 16 كيلو واط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = الطاقة المستهلكة × سعر الكيلوواط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = 30 × 16= 480 فلساً

أسئلة الدرس

١ املأ الفراغ بالكلمة أو العبارة المناسبة :

أ القدرة الكهربائية هي : ....

ب وحدة قياس القدرة هي : ....

جـ لتحويل القدرة بالواط إلى كيلو واط ، نقسم القدرة مقدرة بالواط على : ....

د لتحويل القدرة بالكيلواط إلى واط ، نضرب القدرة مقدرة بالكيلواط بـ -------- .

هـ الحصان الميكانيكي يعادل : ....واط

و لتحويل القدرة بالحصان إلى واط ، نضرب القدرة مقدرة بالحصان بـ ---------- .

ز اكتب الصيغ الثلاث لقانون القدرة الأساسي :

١ ....

٢ ....

٣ ....

٢ مسخن إذابة الجليد عن سطح ثلاجة منزلية ، يسحب تياراً مقداره (3) أمبير ، فإذا كان جهده (220) فولت ، أحسب قدرته بالواط؟

٣ مدفأة كهربائية تعمل بجهد (220) فولت، وتسحب تياراً مقدار(11) أمبير . احسب قدرة المدفأة بالواط والكيلواط .

٤ سخان كهربائي قدرته (4) كيلو واط، يعمل بجهد (220)فولت، احسب شدة التيار الذي يسحبه هذا الحمل .

٥ اكتب العلاقة التي تعطي القدرة بدلالة التيار والمقاومة .

٦ مسخن كهربائي مقاومته (50) أوم، يسري فيه تيار مقداره (5)أمبير . احسب قدرة المسخن بالواط والكيلواط .

٧ اكتب العلاقة التي تعطي القدرة بدلالة الجهد والمقاومة . ------------------- .

٨ مصباح كهربائي مقاومته (806) أوم، وجهده (220) فولت . احسب قدرة المصباح .

٩ اكتب العلاقة التي تعطي الطاقة الكهربائية المستهلكة . ------------------- .

١٠ اذكر الوحدة العملية لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة ورمزها . ------------------- .

١١ ثلاجة تجارية قدرتها (1,5) كيلو واط، تعمل لمدة (12) ساعة يومياً. احسب الطاقة الكهربائية المستهلكة، وتكاليفها إذا كان سعر الكيلو واط ساعة (30) فلساً.

قانون كيرشوف

لقد لاحظت في الدرس السابق أنه يمكن استخدام قانون أوم في تحليل(حساب التيار والجهد) الدارات الكهربائية البسيطة التي تحتوي على مقاومة واحدة أو عدة مقاومات موصولة على التوالي أو التوازي. ولكن هناك الكثير من الدارات الكهربائية المعقدة التي لا يمكن تحليلها باستخدام قانون أوم بمفرده.

هناك العديد من القوانين والطرق التي تيسر عملية تحليل الدارات الكهربائية المعقدة، ولعل أكثرها شيوعاً قانوني كيرشوف لتحليل الدارات الكهربائية المعقدة.

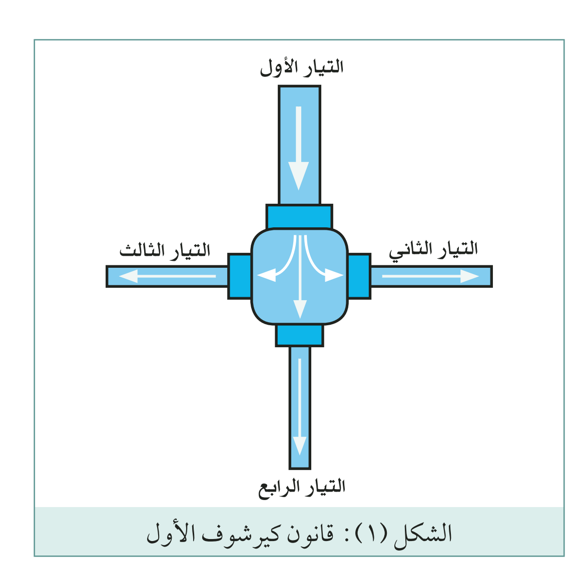
وضع العالم جوستاف كيرشوف قانونان مهمان لتحليل الدارات الكهربائية المعقدة، ويعرف القانون الأول باسم قانون كيرشوف للتيار، بينما يسمى القانون الثاني قانون كيرشوف للجهد. والآن لنشرح هذين القانونين بشيء من التفصيل.

١ قانون كيرشوف الأول للتيار

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات الكهربائية في أي عقدة (نقطة تفرع أو توصيل) في الدارة الكهربائية يساوي صفرا. ويمكن صياغة هذا القانون بصورة ابسط، حيث يمكن القول أن المجموع الجبري للتيارات القادمة إلى نقطة معينة (عقدة) يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة.

ويجب التنويه أن مصطلح جبري الوارد في قانوني كيرشوف يشير إلى حتمية الانتباه لنوع القطبية التي يتمتع بها كل تيار أو جهد كهربائي، وذلك بإعطائها الإشارة المناسبة لها: إما إن تكون موجبة(+) أو تكون سالبة(−).

لفهم قانون كيرشوف الأول انظر إلى الشكل(١)، لاحظ هنا أن التيار 1 هو الوحيد المتجه إلى العقدة بينما هنالك ثلاثة تيارات (تيار 2، تيار 3، وتيار 4) تغادر نفس العقدة. أي أنه عندما يدخل التيار 1 إلى العقدة فإنه لا يوجد له طريق أخر سوى التوزع والمغادرة عن طريق الفتحات الثلاث الأخرى.



الشكل (١): قانون كيرشوف الأول

لو ترجمنا هذا إلى معادلة لكتبناها كما يلي:

التيار1 = التيار2 + التيار3 + التيار4

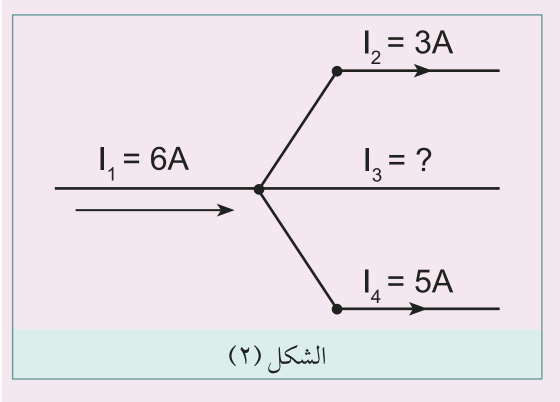
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

لاحظ هنا أننا اعتبرنا التيار الداخل إلى العقدة موجب والتيار المغادر للعقدة سالب.

مـــثـــال ١

أوجد قيمة واتجاه التيار(I_3) في الشكل(٢).



الشكل (٢)

الحـــــــل

نفرض أن التياران (I_1) و(I_3) متجهان إلى العقدة، بينما التياران (I_2) و (I_4) يغادران العقدة.
الآن إذا طبقنا قانون كيرشوف للتيار أي مجموع التيارات القادمة إلى نقطة معينة (عقدة) يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

$$6 + I_3 = 3 + 5$$

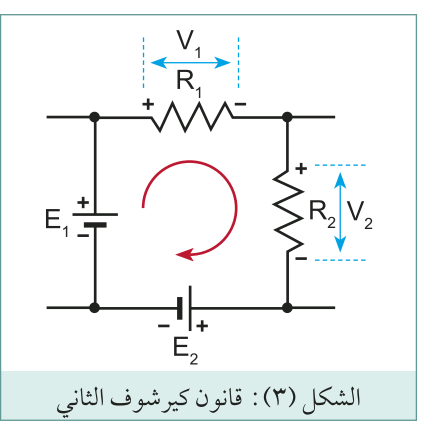
$$I_3 = 8 - 6 = 2A$$

٢ قانون كيرشوف الثاني للجهد

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري لجميع قيم الجهد الكهربائي على حلقة مغلقة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً.

ويمكن صياغة هذا القانون بصورة ابسط، حيث يمكن القول أن المجموع الجبري لحاصل ضرب المقاومات والتيارات السارية في أي حلقة مغلقة في الدارة الكهربائية يساوي المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية فيها مأخوذة في ترتيب دوري واحد.

$$\Sigma\, emf = \Sigma\, I \times R$$



الشكل (٣): قانون كيرشوف الثاني

ويجب الانتباه إلى الإشارات الجبرية أثناء تطبيق هذا القانون. ويعد اتجاه القوة الدافعة الكهربائية للبطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب لها بغض النظر عن اتجاه التيار في البطارية. أما اتجاه فرق الجهد بين طرفي المقاومة فهو نفس اتجاه التيار فيها.

فإذا أخذنا اتجاه دوران عقارب الساعة، هو الاتجاه الدوراني الموجب فإن كل قوة دافعة كهربائية وتيار كهربائي في اتجاه عقارب الساعة يكون موجباً وكل ما خالف ذلك يكون سالباً.

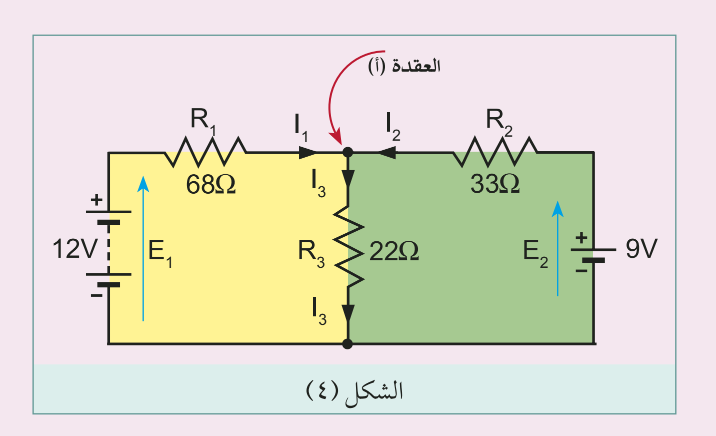
دعنا الآن نطبق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة المبينة في الشكل(٣).

$$E_1 - E_2 = V_1 + V_2$$

$$E_1 - E_2 = I\,(R_1 + R_2)$$

مثال ٢

أحسب قيمة التيار المار في كل مقاومة في الدارة المبينة في الشكل (٤).



الشكل (٤)

الحل

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار على العقدة(أ) :

$$I_1 + I_2 = I_3$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة اليسرى(الصفراء) :

$$E_1 = I_1 \times R_1 + I_3 \times R_3$$

$$E_1 = I_1 \times R_1 + (I_{1\,+}\,I_2) \times R_3$$

$$12 = 68\,I_1 + 22\,(I_1 + I_2)$$

$$12 = 90\,I_1 + 22\,I_2 \qquad ....\ (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة الكبرى الخارجية(الصفراء+الخضراء) :

$$12 - 9 = 68\,I_1 - 33\,I_2$$

$$3 = 68\,I_1 - 33\,I_2 \qquad ....\ (2)$$

والان يجب علينا حل المعادلتين الآنيتين (1) و(2). فنقوم بضرب المعادلة الأولى بـ (3)، وضرب المعادلة الثانية بـ(2) فنحصل على :

$$36 = 270\,I_1 + 66\,I_2$$

$$6 = 136 - 6\,I_2$$

ثم نجمع هاتين المعادلتين فنحصل على :

$$42 = 406\, I_1$$

$$I_1 = 0.103A$$

ثم نعوض عن قيمة (I_1) في المعادلة الأولى :

$$12 = 90 \times 0.103 + 22\, I_2$$

$$I_2 = 0.124A$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.103 + 0.124 = 0.227A$$

أسئلة

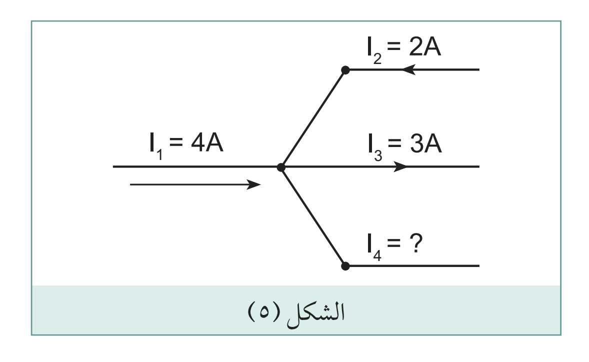
١ أذكر نص قانون كيرشوف الأول للتيار .

٢ إحسب قيمة واتجاه التيار الرابع في الشكل (٥) .

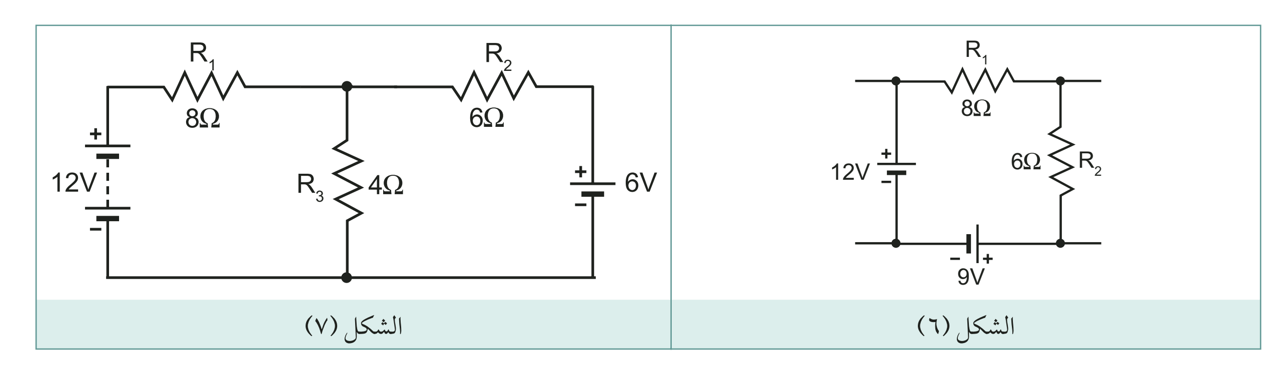
٣ أذكر نص قانون كيرشوف الثاني للجهد .

٤ إحسب قيمة التيار في الدارة المبينة في الشكل (٦) .

٥ إحسب قيمة التيار في الدارة المبينة في الشكل (٧) .



الشكل (٥)



الشكل (٧)

الشكل (٦)

المواسعات

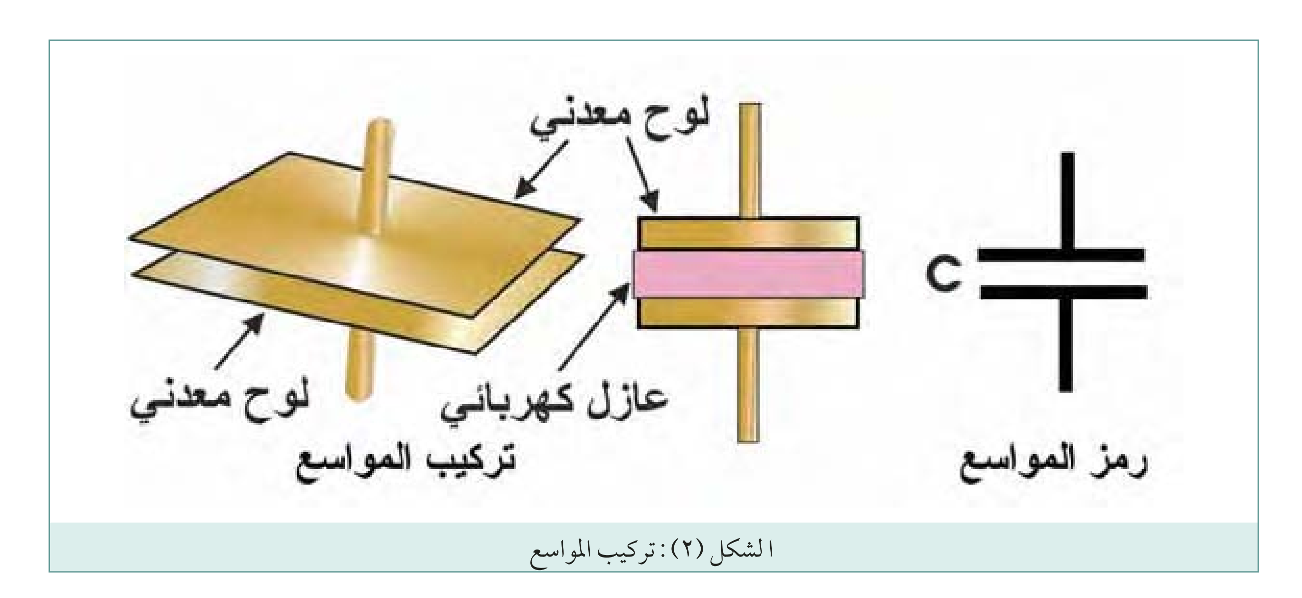
درست في درس سابق المقاومة الكهربائية بوصفها أحد عناصر الدارة الكهربائية، والآن ستتعرف على عنصر آخر من عناصر الدارة الكهربائية، وهو المواسع الكهربائي .(Capacitor) فالمواسع هو عنصر كهربائي يقوم باختزان الطاقة الكهربائية في أثناء عملية الشحن على شكل مجال كهربائي، وإطلاقها في أثناء عملية التفريغ. وفي هذا الدرس سنشرح المواسعات وأنواعها وخصائصها المختلفة.



شكل (١) مواسعات

١ تركيب المواسع

يتكون المواسع في أبسط أشكاله من لوحين معدنيين متوازيين، يفصل بينهما مادة عازلة، مثل الهواء أو الورق المشبع بالزيت أو مواد من البلاستيك أو الميكا أو مواد من السيراميك. ويوصل بكل لوح من لوحي المواسع طرف توصيل. ويبين الشكل (٢) طريقة تركيب المواسع في أبسط أشكاله.

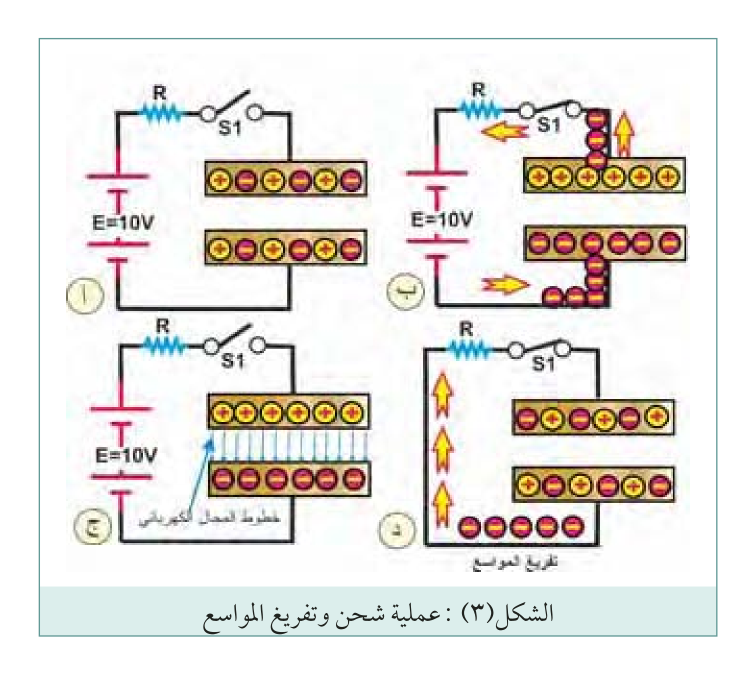


الشكل (٢): تركيب المواسع

٢ آلية عمل المواسع

سنناقش في هذه الفقرة ميكانيكية شحن وتفريغ المواسع، بالاستعانة بالرسوم التوضيحية المبينة في الشكل (٣). ففي الشكل (٣-أ) تلاحظ أن الجهد غير مطبق على المواسع، لذا يوجد عدد متماثل من الإلكترونات الحرة على كل لوح، وبالتالي لا يوجد فرق جهد بين لوحي المواسع.

فعند إغلاق المفتاح (S) المبين في الشكل (٣-ب)، تقوم البطارية بسحب الإلكترونات الحرة الموجودة على اللوح العلوي للمواسع باتجاه قطبها الموجب، كما تقوم بدفع كمية متساوية من الإلكترونات من قطبها السالب نحو اللوح السفلي للمواسع، ونتيجة لذلك يمر تيار في الدارة تتحدد قيمته بوساطة المقاومة الخارجية (R). إن فقد اللوح العلوي للإلكترونات الحرة يعطيه شحنة موجبة، كما أن زيادة الإلكترونات الحرة على اللوح السفلي يعطيه شحنة سالبة، ويؤدي هذا إلى توليد فرق جهد بين لوحي المواسع.



الشكل(٣) : عملية شحن وتفريغ المواسع

يستمر شحن المواسع حتى يصبح فرق الجهد بين لوحيه مساوياً للجهد بين قطبي البطارية. وبحسب الشكل (٣)، يستمر مرور التيار في الدارة حتى يصبح الجهد على طرفي المواسع (10) فولت، وعندما يصبح جهد المواسع مساوياً لجهد البطارية، يتوقف مرور التيار لأنه لم يعد يوجد فرق بين جهد المواسع وجهد البطارية.

يبين الشكل (٣-ج) أنه في الوقت الذي يصبح فيه المواسع مشحوناً، يمكن فتح المفتاح، وسيحافظ المواسع بعد ذلك على شحنته الموجودة بين لوحي المواسع التي تكون بشكل مجال كهربائي، تتجه خطوطه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. وعند فصل المواسع من الدارة يمكن استخدامه لفترة قصيرة كمصدر للجهد، ويتم تفريغ شحنته عند وصله بحمل كهربائي، حيث تعود ألواحه إلى التعادل مرة أخرى. وتلاحظ كذلك أن تيار الشحن أو التفريغ يمر في الدارة الخارجية لا يمر عبر المواسع نفسه؛ نظراً لوجود المادة العازلة بين لوحي المواسع.

٣ وحدات السعة الكهربائية

السعة (Capacitance) هي قياس لمقدار الشحنة التي يستطيع أن يختزنها مواسع عند تطبيق جهد معين عليه، ويرمز لها بالحرف (C) وتقاس بوحدة تسمى الفاراد، نسبة إلى العالم فارادي، ويرمز للفاراد بالحرف (F). وتقدر سعة المواسع بالعلاقة التالية:

$$\text{السعة (الفاراد)} = \frac{\text{الشحنة المخزونة (الكولوم)}}{\text{فرق الجهد بين الألواح (الفولت)}}$$

أو: $C = \frac{Q}{V}$

إن مواسعاً سعته (1) فاراد يكون ضخماً جداً، ولذا تستعمل وحدات الميكروفاراد (µF) والنانوفاراد (nF) والبيكوفاراد (pF) في التطبيقات العملية، علماً أن:

الميكروفاراد (µF) = 10^{-6}× 1فاراد

النانوفاراد (nF) = 10^{-9} × 1 فاراد

البيكوفاراد (pF) = 10^{-12} × 1 فاراد

٤ الطاقة المخزونة في المواسع

يخزن المواسع الطاقة الكهربائية على شكل مجال كهربائي، تتجه خطوطه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. وتتناسب الطاقة المخزونة في المواسع طردياً مع حاصل ضرب قيمة السعة ومربع قيمة فرق الجهد بين طرفي المواسع، وتعطى بالمعادلة التالية:

$$E = 0.5 CV^2$$

حيث إن:

E= قيمة الطاقة مقاسة بالجول.

C= السعة مقاسة بالفاراد.

V= الجهد بين طرفي المواسع.

٥ انواع المواسعات

يمكن تقسيم المواسعات إلى قسمين أساسيين:

أ المواسعات ثابتة القيمة.

ب المواسعات متغيرة القيمة.

أ المواسعات ثابتة القيمة:

المواسع الثابت القيمة هو المواسع المحدد السعة من قبل الشركة الصانعة، حيث يسجل على جسمه مقدار سعته، ومقدار فرق الجهد المسموح أن يطبق على طرفيه. ويبين الشكل (٤) بعض الأشكال الشائعة للمواسعات ثابتة القيمة المستخدمة في الدارات الإلكترونية.


الشكل (٤): مواسعات ورقية

ومن أنواع المواسعات ثابتة القيمة تبعاً لنوع المادة العازلة:

١ **المواسع الورقي:** ويتكون من طبقتين من الألومنيوم بينهما طبقة رقيقة من الورق المشبع بالشمع أو بالزيت، وتُلفّ المجموعة معاً، ثم تغلف بمادة كيميائية، أو تحفظ

في وعاء معدني صغير محكم الإغلاق أو في إناء معدني مملوء بالزيت، وذلك من أجل زيادة خاصية العزل في الورق، والمساعدة على حفظ المواسع من السخونة الزائدة. تتراوح سعة المواسعات الورقية بين 3000 بيكوفاراد و 4 ميكروفاراد وفولتات تشغيلها نادراً ما تتعدى 600 فولت. وتستخدم المواسعات الورقية كمواسعات تشغيل في المحركات ذات المواسع.


شكل (٥) مواسعات بلاستيكية

٢ **المواسعات البلاستيكية**: تستخدم هذه الأنواع أغشية من مادة بلاستيكية عوضاً عن صفائح الورق. ومن بعض أنواع المواد البلاستيكية العازلة الشائعة: البوليسترين، والبوليستر، والبوليكربونات، والبوليبروبلين.

٣ **مواسع الميكا**: يُتكون من شرائح رقيقة من الميكا كوسط عازل بين ألواح معدنية، وقد تطلى شرائح الميكا ذاتها بطبقة رقيقة من الفضة لتحل محل الألواح المعدنية. ويسمى المواسع في هذه الحالة مواسع الميكا الفضي، ويغلف بطبقة عازلة يبرز منها طرفا التوصيل.

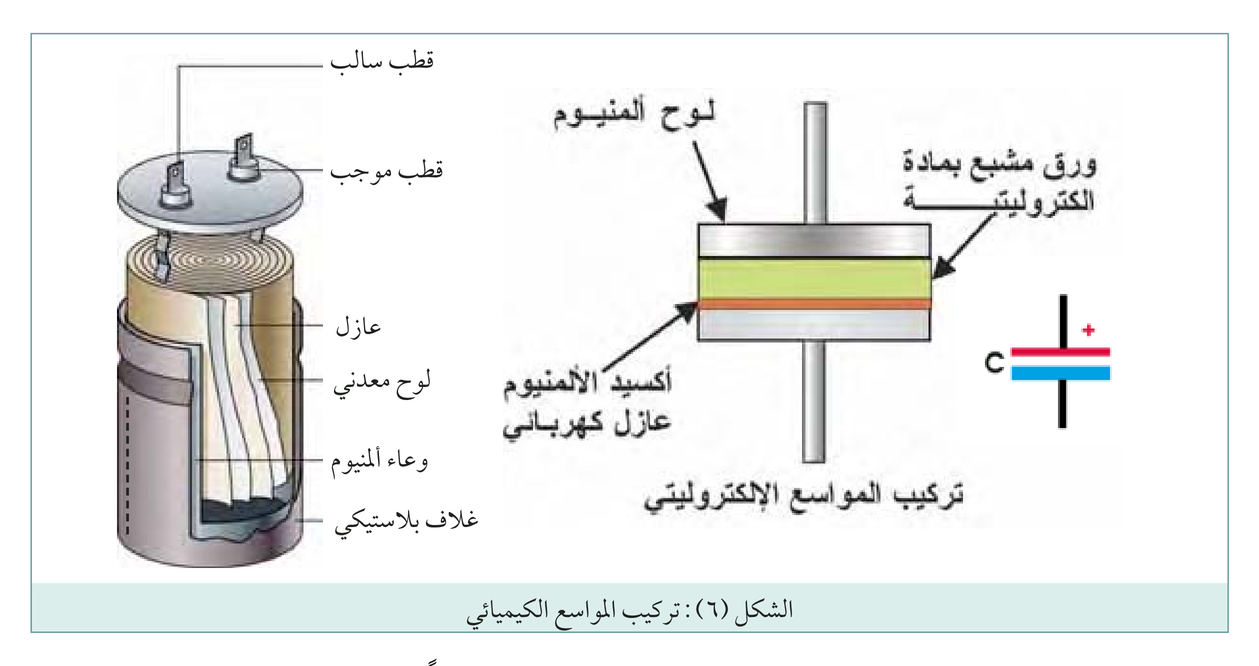
٤ **مواسع السيراميك**: يتكون هذا النوع من لوح من السيراميك يغطي وجهيه طبقتان معدنيتان هما لوحا المواسع.

٥ **المواسعات الكيميائية (الإلكتروليتية)**: من مميزات هذه المواسعات سعتها الكبيرة وحجمها الصغير. ويبين الشكل (٦) بأن هذا النوع من المواسعات يتركب من عدة طبقات هي: لوح من الألومنيوم (سفلي)، وطبقة عازلة من أكسيد الألومنيوم، وطبقة من الورق مشبعة بمادة كيميائية مناسبة مثل بلورات الأمونيوم، ولوح من الألومنيوم (علوي). فعند توصيل المواسع مع جهد تغذية مستمر، يشكل اللوح السفلي القطب الموجب للمواسع، ويصبح أكسيد الألمنيوم المترسب عليه هو الوسط العازل كونه عازلاً جيداً، بينما تشكل طبقة الورق واللوح العلوي القطب السالب للمواسع.

يبين الشكل (٦) كيفية الاستدلال على القطب الموجب للمواسع الكيميائي. فعند وصل هذا النوع من المواسعات في الدارات الإلكترونية، يوصل الطرف الموجب مع نقطة الجهد الأكثر إيجابية. والجدير ذكره أن عكس قطبية المواسع الكيميائي تؤدي إلى انفجاره وتلفه، كما لا يمكن استخدام المواسعات الكيميائية المستقطبة في دارات التيار المتردد.

تصنع المواسعات الكيميائية غير المستقطبة بترسيب طبقات الأكسيد فوق سطحي لوحي المواسع. ويمكن استخدام هذه المواسعات مع مصادر الجهد المستمر أو الجهد المتردد.

من مساوئ المواسعات الكيميائية وجود تسرب عالٍ بين قطبيها، وتلفها عند تخزينها لفترات طويلة نتيجة لجفاف العازل وتلفه.



الشكل (٦): تركيب المواسع الكيميائي

٦ **مواسعات التنتاليوم الإلكتروليتية:** يمكن استخدام التنتاليوم بدلاً من الألومنيوم، ويسمى المواسع في هذه الحالة مواسع التنتاليوم، وهي أكثر تكلفة من مواسعات الألومنيوم الإلكتروليتية، إلا أنها تمتاز على نظيراتها من مواسعات الألومنيوم بصغر حجمها، وثبات سعتها مع تغيرات درجة الحرارة، وطول فترة صلاحيتها عند التخزين.

ب المواسعات المتغيرة القيمة (Variable capacitors):

يتكون هذا النوع من المواسعات من صفائح متوازية من الألومنيوم أو النحاس، على شكل دائري أو بيضاوي، مثبتة على محور قابل للدوران، بطريقة تسمح لهذه الصفائح بالتداخل مع مجموعة من صفائح أخرى، مساوية لها في المساحة، وتكون المادة العازلة في هذا النوع من المواسعات هي الهواء كما مبين في الشكل (٧). وتستخدم هذه المواسعات غالباً في أجهزة الراديو، ويمكن الحصول على سعات مختلفة منها حسب وضع الألواح وتداخلها بعضها مع بعض، فعندما تتداخل الصفائح الدوّارة كلياً مع الصفائح الثابتة، تكون سعة المواسع عند قيمتها العظمى، أما عندما تدور الصفائح إلى الوضع المفتوح كلياً، فتكون السعة عند قيمتها الصغرى.



الشكل (٧): مواسعات متغيرة ورمزها

هناك نوع خاص من المواسعات المتغيرة يعرف باسم مواسع الضبط الدقيق (Trimmer Capacitor). ويستخدم

عندما تكون الحاجة هي إحداث تغييرات طفيفة في السعة بغرض ضبط القيمة المطلوبة . ويتم ذلك عادة عن طريق تغير المسافة بين اللوحين بواسطة برغي الضبط .

٦ المواصفات الفنية للمواسعات

للمواسعات خصائص فنية معينة يتم بموجبها اختيار المواسع الملائم للاستعمال المطلوب ، وأهم هذه الخصائص :

أ السعة:

وهي القيمة الاسمية للمواسع المعبر عنها بالميكروفاراد ، أو النانوفاراد ، أو البيكوفاراد مكتوبة على جسم المواسع .

ب الفولتية التشغيلية المقررة:

هي الفولتية القصوى المسموح تسليطها باستمرار على المواسع . إن تجاوز هذه القيمة يؤدي إلى انهيار الطبقة العازلة الموجودة بين لوحي المواسع ، مما يؤدي إلى تلفه . وتتناسب هذه القيمة طردياً مع سمك طبقة العازل . ويتم التعبير عن الفولتية التشغيلية المقررة بالنسبة للجهد المستمر والمتردد من خلال تسجيل قيمتها على جسم المواسع .

جـ التفاوت أو (الدقة):

هو الانحراف الأقصى المسموح به عن القيمة الاسمية (ويعبر عنه بالنسبة المئوية) .

د معامل درجة الحرارة:

وهو تغير مقدار سعة المواسع مع تغير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة .

هـ التيار المتسرب:

وهو التيار المستمر الساري في العازل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة (يعبر عنه عند درجة حرارة معينة) .

و مقاومة العزل:

هي مقاومة العزل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة (يعبر عنه عند درجة حرارة معينة) .

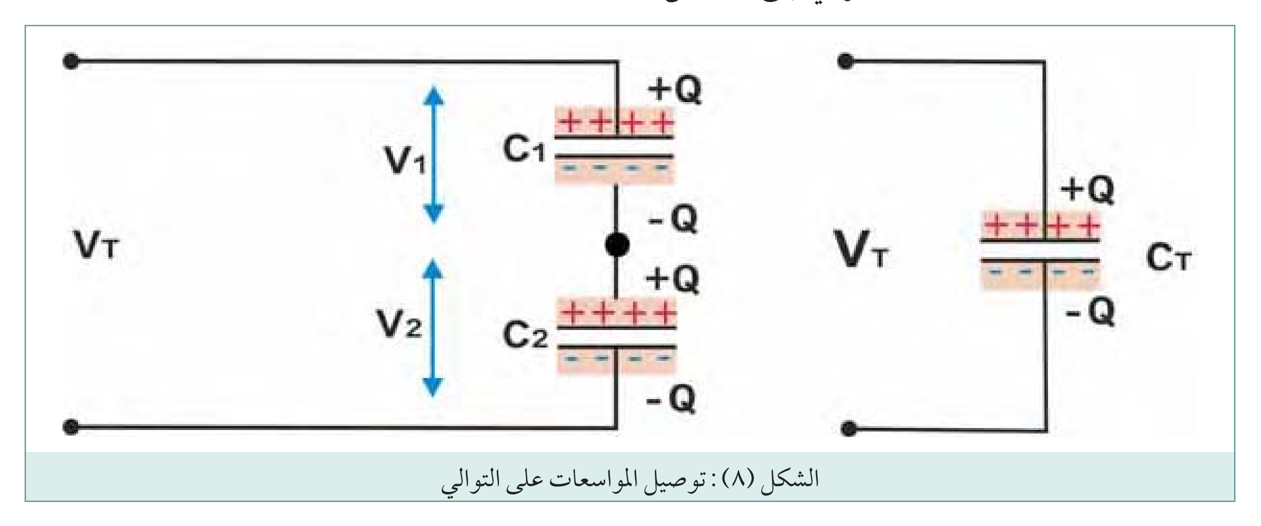
ز الاستقرار:

هو تغير قيمة سعة المواسع (بالنسبة المئوية) الذي يحصل في ظروف محددة ، وعلى مدة معينة من الزمن .

٧ توصيل المواسعات:

توصل المواسعات كما المقاومات على التوالي أو على التوازي، كما يلي:

١ توصيل المواسعات على التوالي: وصل مواسعين على التوالي يكافئ مضاعفة سماكة العازل. وهذا يعني أن المواسعين الموصولين على التوالي يعملان كمواسع واحد فيه سماكة العازل تكافئ مجموع سماكتي العازل في المواسعين. وبما أن السعة تتناسب تناسباً عكسياً مع المسافة الفاصلة بين اللوحين، فإن زيادة سماكة العازل تؤدي إلى تخفيض قيمة السعة الكلية.



الشكل (٨): توصيل المواسعات على التوالي

إذا وصّل مواسعان على التوالي كما هو مبين في الشكل(٨)، تكون الشحنة الكهربائية على المواسعين متساوية. أما فرق الجهد الكلي(V_T) فيساوي مجموع فروق الجهد بين لوحي المكثفين، أي:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر، في حالة التوصيل على التوالي لعدة مواسعات، فإن مقلوب السعة المكافئة الناتجة يساوي مقلوب كل من السعات المختلفة للمواسعات المنفردة. وتكون السعة المكافئة أقل من سعة أصغر مواسع في المجموعة.

إذا وصل عدد n من المواسعات على التوالي، فإن مقلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$$

وتلاحظ أن لهذه المعادلة الشكل ذاته الذي كان لمعادلة حساب المقاومات على التوازي.

مثال ١

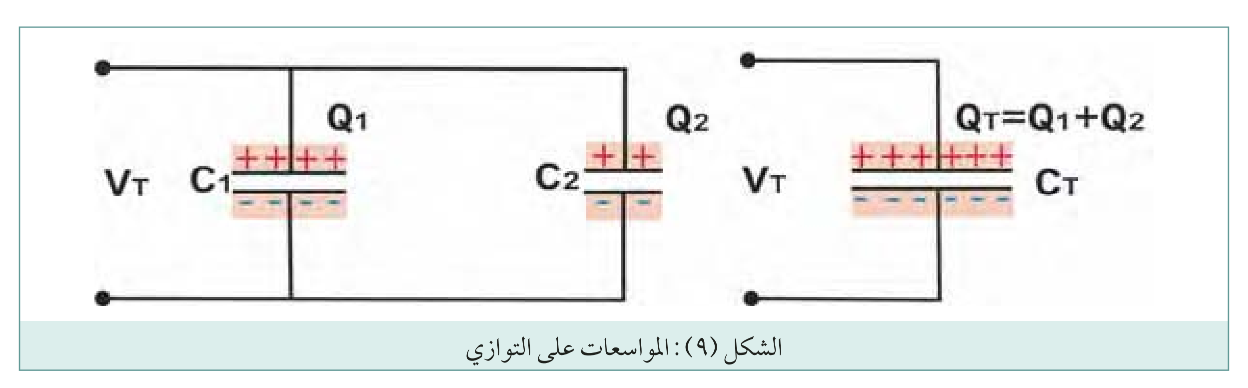
ثلاثة مواسعات : (C_1=4µF) ، و (C_2=3µF) ، و (C_3 = 2 µF) ، موصولة على التوالي . والمطلوب حساب السعة الكلية لهذه المجموعة .

الحل

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{13}{12} = 0.92\ \mu F$$

٢ توصيل المواسعات على التوازي : توصيل مواسعين على التوازي يكافئ مضاعفة مساحة لوح المواسع . وهذا يعني أن المواسعين الموصولين على التوازي يعملان كمواسع واحد فيه مساحة لوحة تكافئ مجموع مساحتي لوحي المواسعين . وبما أن السعة تتناسب تناسباً طردياً مع مساحة لوح المواسع ، فإن زيادة مساحة لوح المواسع يؤدي إلى زيادة السعة الكلية .



الشكل (٩) : المواسعات على التوازي

إذا وصّل مواسعان على التوازي كما هو مبين في الشكل(١١) ، في هذه الحالة يكون فرق الجهد بين طرفي كل منهما مساوياً لجهد المصدر (V_T) ، أما الشحنة الكهربائية الكلية فتكون مساوية لمجموع شحنتي المواسعين ، أي :

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_T V_T = C_1 V_T + C_2 V_T$$

$$C_T = C_1 + C_2$$

وبمعنى آخر ، في حالة التوصيل على التوالي لعدة مواسعات ، فإن السعة المكافئة الناتجة تساوي المجموع الجبري لسعات المواسعات المفردة . إذا وصل عدد n من المواسعات على التوازي ، فإن قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة :

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$$

وتلاحظ أن قيم سعات المواسعات الموصولة على التوازي، تجمع مثل جمع قيم المقاومات الموصولة على التوالي. كما أن المواسعات الموصولة على التوازي يطبق عليها قيمة الجهد نفسة.

مـــثـــال ٢

ثلاثة مواسعات سعة كل منها (٥) ميكروفاراد موصولة على التوازي. احسب السعة الكلية للمجموعة.

الحــــــل

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

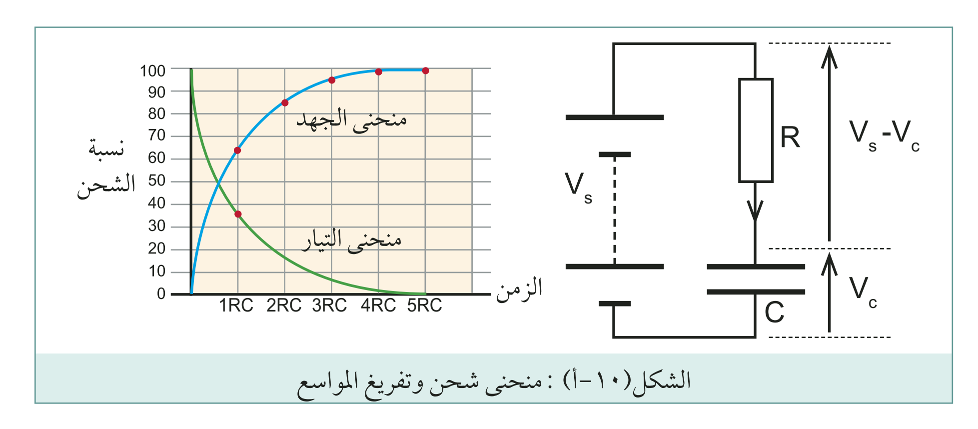
$$C_T = 5 + 5 + 5 = 15\mu F$$

٦ الثابت الزمني للشحن:

بوجه عام، تمثل الدارات الكهربائية المكونة من مواسعات ومقاومات، والتي تعرف باسم داراتRC الأساس بالنسبة للعديد من دارات التوقيت، ودارات تشكيل النبضات، ودارات إنتاج الموجات الإلكترونية (المذبذبات). وسنتناول فيما يأتي عملية شحن وتفريغ مواسع خلال مقاومة.

أ عملية الشحن

يشحن المواسع عادة بوساطة مصدر كهربائي خلال مقاومة، كما في الشكل (١٢)، فعند إغلاق المفتاح يبدأ المواسع الشحن من المصدر الكهربائي، ويمر في الدارة تيار كبير نسبياً لا يلبث أن يتناقص حتى يصبح صفراً تقريباً عند انتهاء الشحن. ويكون فرق الجهد بين طرفي المواسع عند بدء الشحن صفراً، ثم يتزايد تدريجياً حتى يصبح مساوياً تقريباً لجهد المصدر الكهربائي عند نهاية الشحن.



الشكل(١٠-أ) : منحنى شحن وتفريغ المواسع

ب الثابت الزمني للشحن:

يعرف الزمن اللازم لشحن المواسع إلى أن يصل فرق الجهد بين طرفية إلى 63.2% من قيمة فولتية المصدر

بالثابت الزمني لشحن المواسع، وتعطى قيمته بالمعادلة الآتية :

$$\tau = RC$$

حيث إن :

τ =	الثابت الزمني بالثانية
R =	المقاومة بالأوم
C =	سعة المواسع بالفاراد

يبين الشكل(١٣أ-ب) منحنى شحن المواسع، حيث تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 63.2% من قيمة فولتية المصدر في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني ،وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني (أي بعد زمن منقض يساوي (2RC) سوف تزيد قيمة الفولتية بين طرفي المواسع بنسبة تصل إلى 63.2% من الجزء المتبقي وهكذا. من الناحية النظرية، لن يتم شحن المواسع كاملاً أبداً. ولكن بعد مرور فترة زمنية تساوي (5) أضعاف الثابت الزمني للشحن (5RC)تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 99.3% من قيمة فولتية المصدر، مما يمكننا من اعتبار المواسع مشحوناً بأكمله.

أما بالنسبة لتيار شحن المواسع فيكون كبيراً نسبياً عند بدء عملية الشحن، ثم يأخذ بالتناقص تدريجياً، حتى يصبح صفراً تقريباً عند انتهاء الشحن. سوف يقل التيار بنسبة تصل إلى 37% من التيار المبدئي في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني. وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني أي بعد زمن منقض **يساوي** (2RC) سوف يقل التيار بنسبة تصل إلى 37% أخرى من الجزء المتبقي، وهكذا.

مثال ٣

في الشكل (١٠)، افرض أن سعة المواسع (٢)ميكروفاراد، وأن قيمة المقاومة (200)كيلو أوم.
احسب الثابت الزمني لشحن المواسع والزمن اللازم لشحن المواسع بصورة كاملة.

الحل

$$\tau = RC$$

$$\tau = 200 \times 10^{+3} \times 2 \times 10^{-6}$$

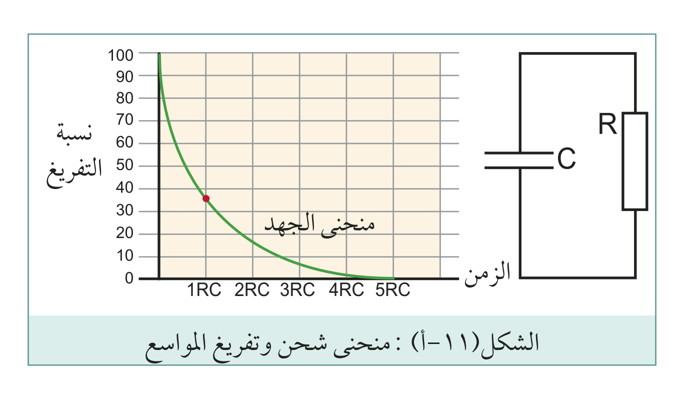
$$\tau = 0.4\ S$$

زمن الشحن = الثابت الزمني × 5= 0.4× 5 = 2 ميلي ثانية

ج عملية التفريغ

بعد أن تعرفنا على كيفية شحن المواسعات، لنتعرف الآن على ما يحدث عند تفريغ الشحنة من مواسع سبق

شحنه . عندما يتم توصيل مواسع تام الشحن بين طرفي مقاومة يبدأ المواسع بتفريغ شحنته خلال المقاومة. ويأخذ فرق الجهد بين طرفي المواسع بالتناقص تدريجياً وفق منحنى أسي كما هو مبين في الشكل(١١). حيث تصل الفولتية بين طرفي المواسع إلى 36.8% (تقريباً 37%)من قيمة الجهد المبدئي في فترة زمنية مساوية لقيمة الثابت الزمني، وفي نهاية الفترة الزمنية التالية لقيمة الثابت الزمني (أي بعد زمن يساوي 2RC) سوف تقل قيمة الجهد بين طرفي المواسع بنسبة تصل إلى 37% من الجزء المتبقي وهكذا. من الناحية النظرية، لن يتم تفريغ المواسع بشكل تام أبداً. ولكن بعد مرور فترة زمنية تساوي (5) أضعاف الثابت الزمني للشحن(5RC) يصل الجهد بين طرفي المواسع إلى 1% من قيمة الجهد المبدئي ، مما يمكننا من اعتبار المواسع مفرغاً بشكل تام .



الشكل(١١-أ) : منحنى شحن وتفريغ المواسع

٧ ترميز المواسعات

تطبع على جسم المواسع المواصفات الفنية له مثل : السعة، وجهد التشغيل، وقيمة السماح في سعته(الدقة)، ودرجة حرارة التشغيل القصوى. ويتم اتباع عدة طرق لكتابة هذه المواصفات على جسم المواسع منها ما هو رقمي، يستخدم فيه الأرقام والحروف، ومنها ما هو لوني.

معظم المواسعات تكون معلوماته مطبوعة عليه. هذه القيم تشمل السعة والجهد الذي يعمل عنده المواسع وكذلك دقة السعة.

السعة : تكون السعة دائماً بالميكروفاراد، إلا إذا وجد الرمز n ، فهذا يعني أن السعة بالنانوفاراد .

الجهد: يعطى كرقم يتبعه الحرف V ، وفي كثير من الأحيان لا يكتب الحرف V .



الشكل (١٢) : ترميز المواسعات

الدقة: يتم تحديد قيمة الدقة(التفاوت) في سعة المواسع بوساطة الحروف المبينة في الجدول.

الأمثلة على ما ذكر موضحة بالشكل التالي :

لاحظ أن المواسع يكون موسوماً من اليسار إلى اليمين، برمز مكون من ثلاثة أرقام، ثم حرف، وبعد ذلك رقمين أو ثلاثة، وتفسير هذه الرموز هو الآتي :

- أول رقمين من اليسار هي السعة بالبيكوفاراد. الرقم الثالث هو معامل الضرب فإذا كان مثلا 2 فذلك يعني أن السعة مضروبة في 100 وإذا كان 3 فيعني أن السعة مضروبة في 1000، وهكذا.

الحرف	التفاوت
F	1%
G	2%
J	5%
K	10%
M	20%
N	30%

- الحرف الذي يتبع الأرقام يحدد الدقة . فالحرف K يعني 10% أما الحرف M فيعني 20%
- الرقمان أو الثلاثة أرقام التي تتبع الحرف تحدد الجهد الذي يعمل عنده المواسع .

مثال ٤

مواسع مؤشر بالرمز التالي : 474K63 فماذا يعني ذلك ؟

الحل



هنا الرقم الثالث هو 4 فيكون معامل الضرب 10000 أي أن سعة المواسع هي :
470000 = 10000 x 47 بيكوفاراد (هذا يساوي 0.47 ميكروفاراد) .
الحرف الذي بعد الأرقام الثلاثة هو K أي أن دقة السعة هي 10 % .
الرقمان 63 بعد الحرف K يحددان الجهد وفي هذا المثال الجهد = 63 فولت ، نجد أن أول رقمين من اليسار 47 أي 47 بيكوفاراد .

٨ أعطال المواسعات

قد تتعرض المواسعات المستخدمة في الدارات الكهربائية والإلكترونية إلى أحد أنماط الأعطال الآتية :

أ دارة القصر (شورت):

ينتج هذا العطل من اتصال لوحي المواسع معاً نتيجة انهيار العازل الذي قد ينتج بدوره من تعريض المواسع لفولتية أعلى من فولتية الانهيار له ، أو تشغيله في ظروف ترتفع فيها درجة حرارته عن الحد المسموح به . وهذا العطل من أكثر أعطال المواسعات شيوعاً ، حيث يعطي المواسع عند قياس مقاومته مقاومة منخفضة جداً قد تصل إلى (صفر) .

ب المواسع يتصرف كأنه مقاومة:

يعطي مقاومة ثابتة عند قياس مقاومته . وينتج هذا العطل عادة عندما يفقد الوسط العازل لخصائصه ، فيتصرف وكأنه مقاومة .

جـ دارة مفتوحة:

ينتج هذا العطل عادة من انفصال أحد أطرافه أو انفجاره ، كما يحدث للمواسع الكيميائي .

د تغير السعة:

يعطي المواسع في هذه الحالة سعة أكبر من سعته المقررة أو أقل بشكل ملحوظ، وينتج ذلك عن اختلاف ظروف التشغيل عن الظروف الصحيحة. ولا يمكن اكتشاف هذا العطل بقياس مقاومة المواسع، ولا بد في هذه الحالة من استخدام جهاز قياس السعة لقياس سعة المواسع، ومقارنة قراءة الجهاز بالقيمة المسجلة على جسم المواسع. والجدير ذكره أن أجهزة قياس السعة الرقمية أصبحت متوفرة في الأسواق.

ويمكن استخدام الأوميتر لفحص المواسع بشكل مبدئي للمواسعات التي تزيد سعتها عن 1μF مقاومة منخفضة في البداية، ثم تبدأ قيمتها بالارتفاع بشكل تدريجي حتى تثبت عند قيمة عالية جداً، وذلك ناتج من عملية شحن المواسع من بطارية جهاز الأوميتر. ويجب الانتباه لوصل المواسع بجهاز الأوميتر بالقطبية الصحيحة للحصول على النتائج الصحيحة.



الشكل (١٣): جهاز قياس السعة الرقمي.

أسئلة

١ أكمل الجمل التالية:

أ المواسعات عناصر كهربائية لديها: ....

ب يتكون المواسع في أبسط أشكاله من: ....

جـ المواد العازلة المستخدمة كعازل كهربائي في المواسعات هي:

١ .... ٢ .... ٣ .... ٤ ....

٥ .... ٦ ....

د السعة الكهربائية: ....

هـ وحدة قياس السعة الكهربائية هي: .... ولكنها وحدة كبيرة جداً، لذلك تستخدم في التطبيقات العملية وحدات قياس السعة التالية:

١ .... ورمزها: ....

٢ .... ورمزها: ....

٣ .... ورمزها: ....

و تتعين سعة أي مواسع بثلاثة عوامل هي : .... ، .... ، ....

ز سعة المواسع تتناسب عكسياً مع : .... ، وطردياً مع : .... و.............

ح يتكون المواسع الورقي من : ....

ط الثابت الزمني لشحن المواسع هو الزمن اللازم لِـ: ....

٢ ارسم رسماً تخطيطياً يوضح التركيب العام للمواسع .

٣ ارسم رسماً تخطيطياً يوضح تركيب المواسع الإلكتروليتي .

٤ ارسم رموز المواسعات التالية : مواسع (رمز عام)، والمواسع الإلكتروليتي المستقطب، ومواسع متغير (رمز عام) .

٥ اذكر أهم المواصفات الفنية للمواسع ، وعرف كلاً منها .

٦ احسب السعة الكلية الناتجة من وصل مواسعين، سعة الأول (4) ميكروفاراد، وسعة الثاني (6) ميكروفاراد إذا وصلا على التوالي ، ومن ثم على التوازي .

٧ احسب الثابت الزمني لشحن مواسع سعته (7.4) ميكروفاراد ، يشحن عبر مقاومة (2000)أوم ، واحسب الزمن اللازم لشحنه بصورة كاملة .

٨ اذكر قراءة جهاز الأوميتر المتوقع الحصول عليها عند قياس مقاومة المواسعات التالية :

أ مواسع خال من الأعطال قيمته (4.0) ميكروفاراد : ....

ب مواسع الإلكتروليتي أو ورقي خال من الأعطال قيمته (6) ميكروفاراد .

جـ مواسع تعرض لفولتية أعلى من فولتية الانهيار له ، مما أدى إلى انهيار العازل واتصال لوحيه

د مواسع ورقي قيمته (٤) ميكروفاراد ، وأحد أطرافه مفصول عن لوح المواسع داخل جسم المواسع

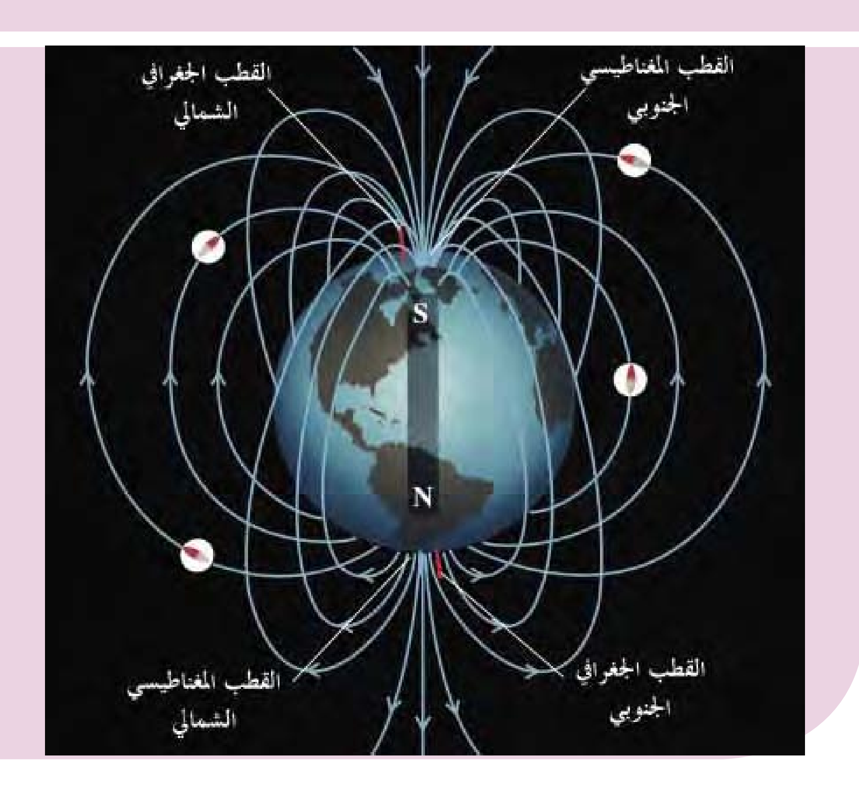
٩ اكتب قيمة السعة ونسبة التفاوت للمواسعات التالية :

أ مواسع مكتوب على جسمه (2n2k...

ب مواسع مكتوب على جسمه (22M1KV...

جـ مواسع مكتوب على جسمه (104) ....

دارات التيار المتناوب



الكهرومغناطيسية

يبحث موضوع الكهرومغناطيسية في المجالات والقوى المغناطيسية الناتجة عن التيار الكهربائي وخواصها واستعمالاتها. وحيث أن الكثير من الأجهزة والأدوات التي تستخدم يومياً تعمل بنظرية الكهرومغناطيسية، كالمحركات والمولدات والمحولات، فلا بد من تذكر المبادئ الأساسية للمغناطيسية.

١ المبادئ الأساسية للمغناطيسية:

أ المواد المغناطيسية:

هي المواد التي تتأثر بقوة جذب المغناطيس، مثل الحديد، والفولاذ والنيكل، والكوبالت، والسبائك المكونة منها.

ب المواد غير المغناطيسية:

هي المواد التي لا تتأثر بقوة جذب المغناطيس، مثل النحاس، والألمنيوم، والخشب، والزجاج.

جـ المغناطيس الطبيعي:

هو أحد خامات الحديد الموجودة في الطبيعة، وهو المبين في الشكل (١).
وقد اكتشف الإغريق القدماء المغناطيس، بالقرب من مدينة مغنيسيا في آسيا الصغرى.



الشكل (١): المغناطيس الطبيعي

د المغناطيس الصناعي:

يصنع من أحد المواد المغناطيسية المعروفة أو من سبائكها، وتجري عليها عملية المغنطة بأحد الطرق الآتية:

١ المغنطة بالدلك:

بدلك قضيب من مادة مغناطيسية بمغناطيس آخر.

٢ المغنطة بالتأثير:

بوضع المادة المغناطيسية بالقرب من مغناطيس آخر.

٣ المغنطة بالكهرباء:

بتمرير تيار كهربائي في موصل ملفوف حول قلب من مادة مغناطيسية . وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعاً في الحياة العملية .

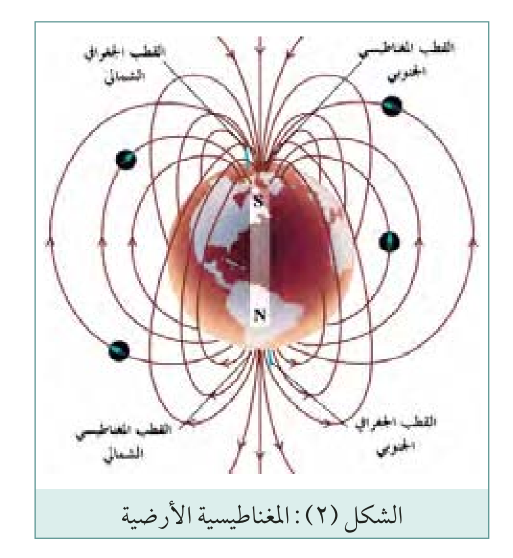
تستخدم سبائك الفولاذ التي تحتوي على نسبة من النيكل والكوبالت، في صناعة المغناطيس الدائم . أما الحديد العادي، فيمكن مغنطته بسهولة، ولكنه يفقدها بسهولة أيضاً .

هـ أقطاب المغناطيس:

أن لكل مغناطيس قطبين مغناطيسيين : قطب شمالي يرمز له بالحرف (N)، وقطب جنوبي يرمز له بالحرف (S) . وتتمركز قوة المغناطيس عند قطبيه، وتضعف كلما اتجهت نحو منتصفه . وقد دلت التجارب العملية أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب .

و المغناطيسية الأرضية:

الكرة الأرضية هي عبارة عن مغناطيس ضخم يميل محوره على محور دوران الأرض بزاوية مقدارها 11° ويقع قطبه الشمالي(N) بالقرب من القطب الجنوبي الجغرافي للكرة الأرضية، كما يقع قطبه الجنوبي (S) بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي للكرة الأرضية كما هو موضح في الشكل (٢) . ويقول العلماء أن المجال المغناطيسي للأرض يعود إلى دوران الأرض حول نفسها وسريان تيارات كهربائية في قلب الأرض المعدني المنصهر .

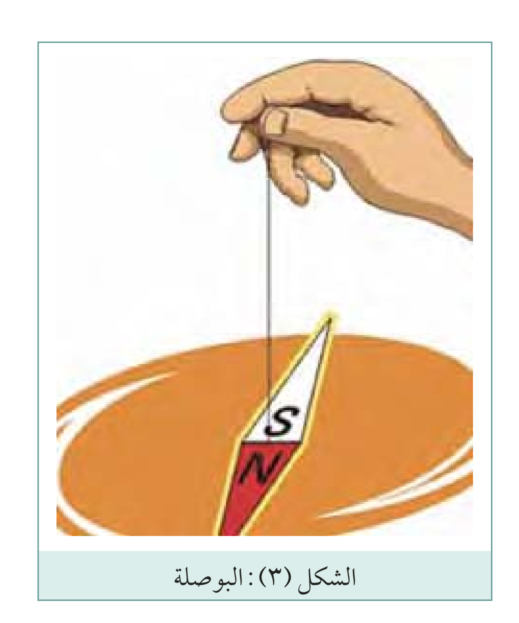


الشكل (٢) : المغناطيسية الأرضية

ز البوصلة:

إذا علق قضيب مغناطيسي وترك ليتحرك أفقياً، فإنه يتجه شمالاً وجنوباً باتجاه محور الأرض تقريباً . واعتماداً على هذه الحقيقة استعملت البوصلة في تعين الاتجاهات .

البوصلة الحديثة وهي عبارة عن قطعة رفيعة من الفولاذ المغنط، متمركزة على محور صغير بحيث تكون حرة الحركة أفقياً، وهي تشير دوماً إلى الأقطاب الأرضية المغناطيسية .



الشكل (٣) : البوصلة

ح المجال المغناطيسي:

المجال أو الحقل المغناطيسي هو المنطقة المحيطة بالمغناطيس التي تظهر فيها الآثار المغناطيسية .

ط خطوط القوى المغناطيسية:

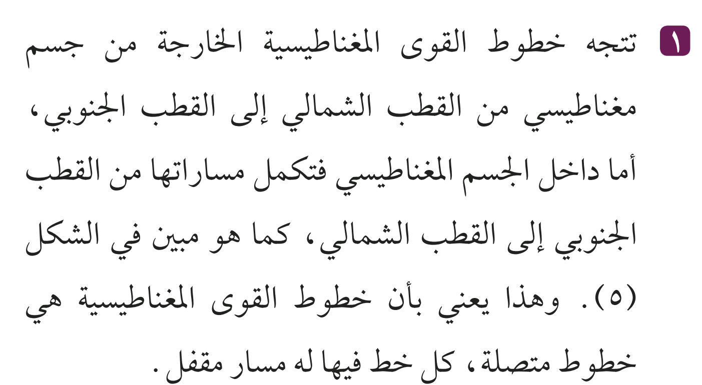


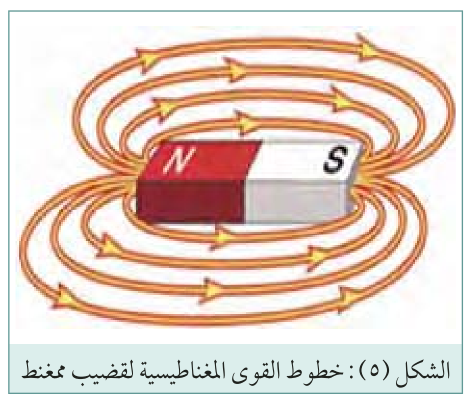
الشكل (٤) : المجال المغناطيسي

يتمثل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية ، وهي خطوط وهمية تبين المسار الذي يتخذه قطب شمالي صغير فيما لو ترك حر الحركة في منطقة الحقل المغناطيسي للمغناطيس .

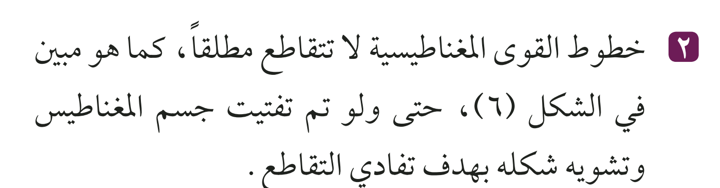
إن خطوط القوى المغناطيسية التي تشكل المجال أو الحقل المغناطيسي لا يمكن رؤيتها ، ولكن إذا تم وضع مغناطيس تحت قطعة من الكرتون أو الزجاج ، ونثرت برادة حديد فوقها ، كما هو موضح في الشكل (٤) ، تتوجه برادة الحديد بحسب خطوط القوى المغناطيسية ، وعند ذلك يمكنك أن ترى خطوط القوى المغناطيسية .

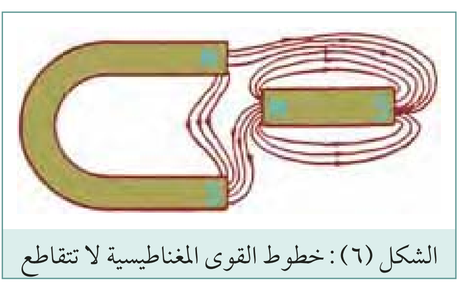
ي مميزات خطوط القوى المغناطيسية:

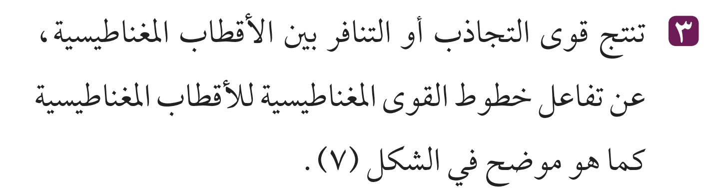

١ تتجه خطوط القوى المغناطيسية الخارجة من جسم مغناطيسي من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي ، أما داخل الجسم المغناطيسي فتكمل مساراتها من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي ، كما هو مبين في الشكل (٥) . وهذا يعني بأن خطوط القوى المغناطيسية هي خطوط متصلة ، كل خط فيها له مسار مقفل .

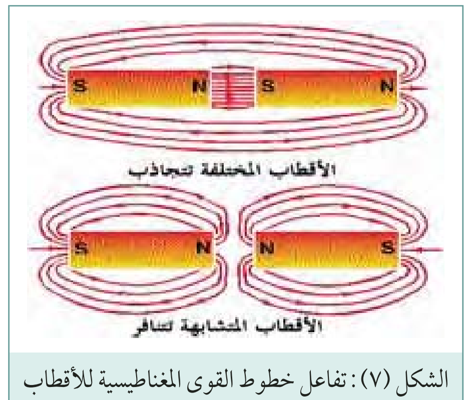


الشكل (٥) : خطوط القوى المغناطيسية لقضيب ممغنط


٢ خطوط القوى المغناطيسية لا تتقاطع مطلقاً ، كما هو مبين في الشكل (٦) ، حتى ولو تم تفتيت جسم المغناطيس وتشويه شكله بهدف تفادي التقاطع .


الشكل (٦) : خطوط القوى المغناطيسية لا تتقاطع


٣ تنتج قوى التجاذب أو التنافر بين الأقطاب المغناطيسية ، عن تفاعل خطوط القوى المغناطيسية للأقطاب المغناطيسية كما هو موضح في الشكل (٧) .



الشكل (٧) : تفاعل خطوط القوى المغناطيسية للأقطاب

ك الكثافة المغناطيسية:

الكثافة المغناطيسية تعبر عن شدة أو قوة المجال المغناطيسي عند نقطة ما في مجال مغناطيسي. وهي عدد خطوط القوى المغناطيسية المتدفقة عبر وحدة المساحة (المتر المربع)، ويرمز لها بالحرف (B) وتقاس بوحدة تسمى تسلا (Tesla).

أما المجموع الكلي لخطوط المجال المغناطيسي في قطعة حديد ممغنطة مثلاً، يسمى الفيض المغناطيسي (FLUX) ويرمز له بالحرف (Φ) ويقاس بوحدة الويبر (Weber). وهو حاصل ضرب الكثافة المغناطيسية (B) بمساحة السطح (A) الذي يغطيها الفيض المغناطيسي بشكل عمودي عليها:

$$\Phi = B \times A$$

أما الكثافة المغناطيسية، فتعادل حاصل قسمة الفيض المغناطيسي الكلي على مساحة المجال:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

وحدة الكثافة المغناطيسية هي ويبر/ متر مربع وتعرف بالتسلا.

مثال ١

مجال مغناطيسي في الفراغ كثافته 2.5 ملي تسلا، ويغطي مساحة 20 سم^2. أوجد قيمة الفيض المغناطيسي الكلي.

الحل

B = 2.5 ملي تسلا = 2.5×10^{-3} تسلا

$$A = 20cm^2 = \frac{20}{10000} = 20\times10^{-4}m$$

$$? = \Phi$$

$$\Phi = B\,A$$

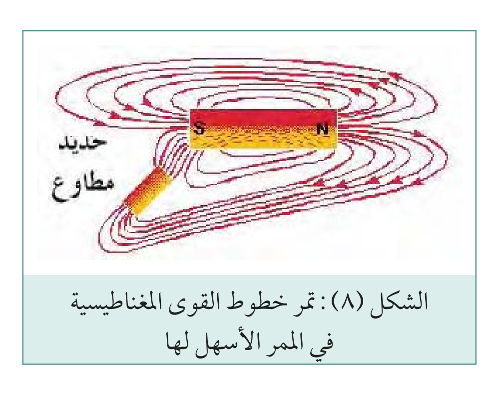
$$\Phi = 2.5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-4}$$

$$\Phi = 50 \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-6}$$

$$\Phi = 5\mu Wb$$

ل الإنفاذية المغناطيسية (Permeability):

وهي تعبر عن قدرة المادة على تمرير وتركيز خطوط القوى المغناطيسية. وللمواد المغناطيسية كالحديد والفولاذ معامل إنفاذية مرتفع، أي أن معارضتها لخطوط القوى المغناطيسية منخفضة. أما المواد غير المغناطيسية كالهواء والبلاستيك، فلها معامل إنفاذية مغناطيسية منخفض، أي إن معارضتها لخطوط القوى المغناطيسية مرتفع. فللهواء مثلاً معامل إنفاذية يساوي (12.57×10^{-7} هنري/ متر)، بينما معامل إنفاذية حديد المحولات (2400 هنري/ متر) أو أكثر.



الشكل (٨): تمر خطوط القوى المغناطيسية في الممر الأسهل لها

من خصائص خطوط القوى المغناطيسية، أنها تفضل المرور في المسار الأسهل لها، فإذا وضعت قطعة حديد في الحقل المغناطيسي لمغناطيس، كما هو مبين في الشكل (٨)، فإن خطوط القوى المغناطيسية تتجمع وتتجه عبر قطعة الحديد، لأن الحديد يشكل لها ممراً أسهل من الهواء.

يرمز لمعامل إنفاذية الحيز الفارغ بالرمز (μ_0) وقيمته $4^{\pi} \times 10^{-7}$ أو 12.57×10^{-7}هنري/ متر. ويساوي معامل الإنفاذية المطلقة للمادة الممغنطة (μ)حاصل ضرب معامل إنفاذية الحيز الفارغ (μ_0) ومعامل الإنفاذية النسبية للوسط المغناطيسي(μ_r)، أي:

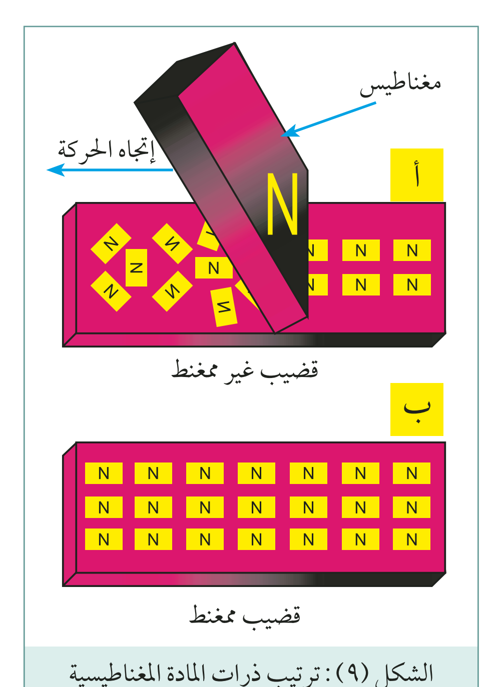
$$\mu=\mu_r\times\mu_0$$

المواد غير المغناطيسية لها معامل إنفاذية يعادل تقريباً معامل إنفاذية الفراغ، أما المواد المغناطيسية فلها معامل إنفاذية مرتفع كما هو مبين في الجدول الآتي:

المادة المغناطيسية	معامل الإنفاذية النسبية للمادة المغناطيسية (عند كثافة مجال تساوي $0.002W/m^2$)
الحديد المغناطيسي	200
النيكل	100
سبيكة مكونة من: 78.5% نيكل 21.5%+ حديد	8000
سبيكة مكونة من: 75% نيكل 2%+ كروم 5%+ نحاس 18%+ حديد	20000

م النظرية الذرية للمغناطيسية:

تستخدم النظرية الذرية للمغناطيسية لتفسير الظواهر المغناطيسية المختلفة، مثل المغنطة بالدلك، وفقدان المغناطيس الدائم لقوته المغناطيسية عند تعرضه للطرق، وغير ذلك من الظواهر المغناطيسية. وتنص هذه النظرية على أن كل ذرة من ذرات المادة المغناطيسية هي مغناطيس صغير بحد ذاته. وفي المادة المغناطيسية غير المغنطة، كما موضح في الشكل (٢١-أ)، تكون الذرات متجهة بشكل عشوائي ومتجاذبة فيما بينها بحيث تتعادل مغناطيسياً ولا يظهر لها أثراً مغناطيسياً خارجياً. وعند مغنطة أي قضيب من مادة مغناطيسية بإحدى الطرق التي سبق ذكرها، تترتب ذراته وتظهر محصلتها المغناطيسية في طرفيه، كما في الشكل (٩-ب).



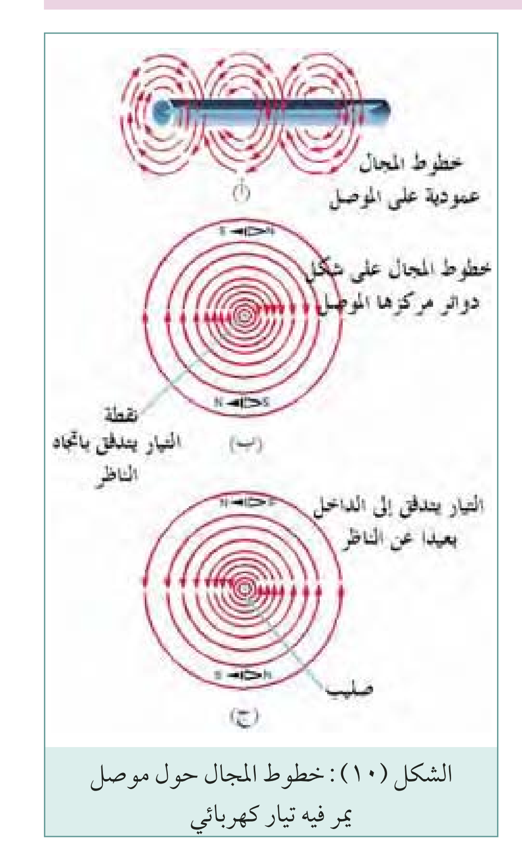
الشكل (٩): ترتيب ذرات المادة المغناطيسية الممغنطة وغير الممغنطة

٢ الكهرومغناطيسية

توجد علاقة وطيدة بين الكهرباء والمغناطيسية، إذ اكتشف العالم الألماني أورستيد في عام (١٨٢٠) أنه عندما يسري تيار كهربائي في موصل، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً مهما كان شكل ذلك الموصل. وفيما يلي توضيحاً للمجال الناشئ عن مرور التيار الكهربائي في الموصلات:

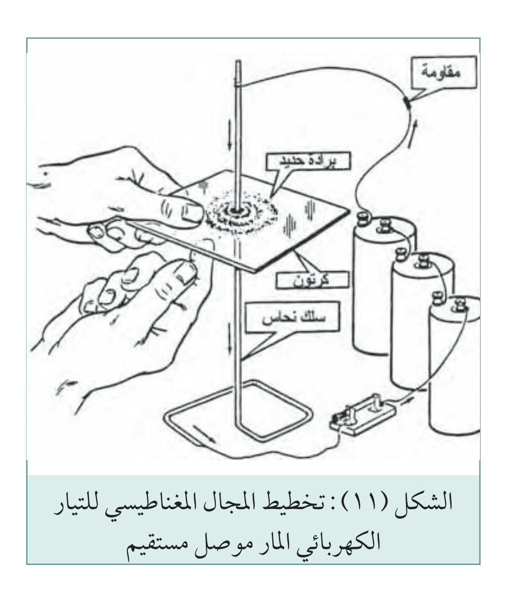
أ مرور التيار الكهربائي في موصل مستقيم:

عندما يسري تيار كهربائي في موصل مستقيم، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً بشكل دوائر مركزها الموصل نفسه. وتمتد على طول هذا الموصل ،وتكون موجودة في مستوى عمودي على الموصل وتتقارب كلما اقتربنا من الموصل، وتتباعد كلما ابتعدنا عنه، كما هو مبين في الشكل (١٠). علماً بأن اتجاه خطوط المجال حول الموصل يعتمد على اتجاه التيار المار في الموصل، ومن أجل تسهيل عملية الرسم، اصطلح أن يرمز للتيار الداخل في موصل باتجاه بعيد عن الناظر بدارة صغيرة بداخلها إشارة (X). كما يرمز للتيار الخارج من الموصل باتجاه الناظر بدارة صغيرة بداخلها إشارة (•).



الشكل (١٠): خطوط المجال حول موصل يمر فيه تيار كهربائي

ويمكن تخطيط المجال المغناطيسي للتيار المار في موصل بنثر برادة الحديد على قطعة من الكرتون يخترقها هذا الموصل بشكل عمودي. كما هو مبين في الشكل (١١).



الشكل (١١): تخطيط المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي المار موصل مستقيم

إن كثافة المجال (B) عند نقطة ما بالقرب من الموصل تتناسب طردياً مع شدة التيار (I) المار في هذا الموصل، وعكسياً مع المسافة العمودية بينها وبين الموصل(r)، وإذا افترضنا أن الوسط هو الفراغ، تعطى الكثافة المغناطيسية عند نقطة ما بالقرب من الموصل بالعلاقة:

$$B = \frac{\propto_0 I}{2\pi r}$$

مـــثـــال ٢

أوجد كثافة المجال المغناطيسي الناتج على مسافة قدرها 50مم من سلك مستقيم يمر به تيار شدته 20 أمبير.

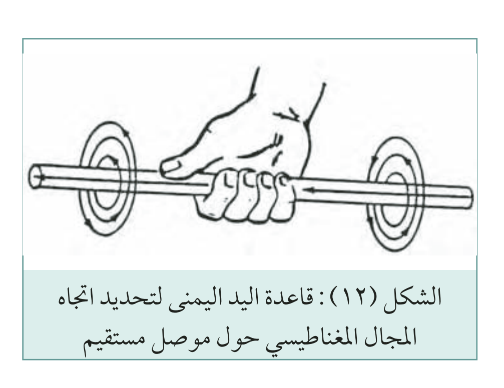
الحـــــــل

$$B = \frac{12.5 \times 10^{-7} \times 20}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-3}}$$

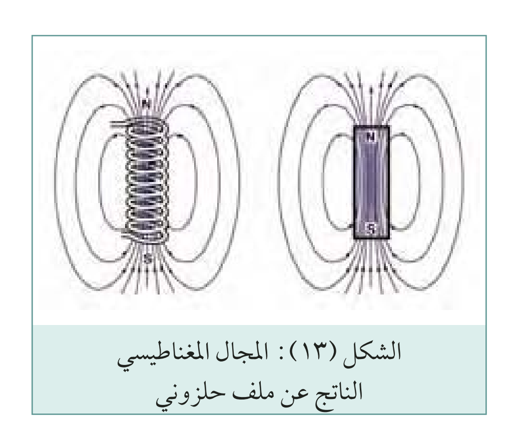
$$B = 800 \times 10^{-6} = 800\mu T$$

ب قاعدة اليد اليمنى:

هذه القاعدة معروفة لتحديد اتجاه خطوط القوى المغناطيسية المتولدة حول موصل مستقيم. ويوضح الشكل (١٢) هذه القاعدة، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليمنى على الموصل، وتمد إصبع إبهامك باتجاه مرور التيار المار في الموصل، فيدلك اتجاه بقية الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي حول الموصل.


الشكل (١٢): قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول موصل مستقيم

ج المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني:

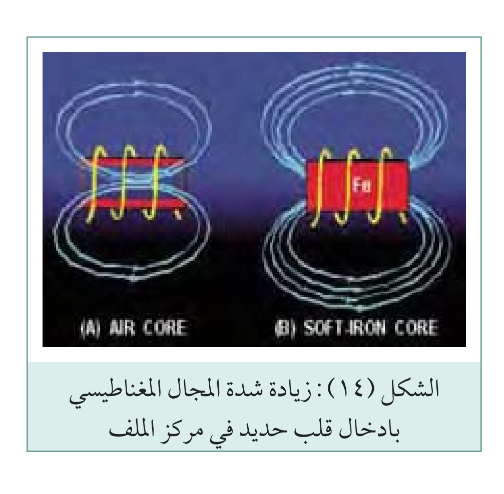


الشكل (١٣): المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني

عندما يسري تيار كهربائي في موصل على شكل ملف حلزوني كما هو مبين في الشكل (١٣)، يتولد حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً يشبه المجال المغناطيسي الذي ينتجه المغناطيس الدائم، حيث تتحد خطوط المجال التي تنتجها اللفات المتجاورة وتكون مجالاً موحداً يشبه في خواصه المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الدائم.



هناك ثلاث طرق لزيادة قوة المجال المغناطيسي حول ملف:



الشكل (١٤): زيادة شدة المجال المغناطيسي بادخال قلب حديد في مركز الملف

الطريقة الأولى: تتم بزيادة التيار.

الطريقة الثانية: زيادة عدد اللفات.

الطريقة الثالثة: تتم بإدخال قضيب حديد في مركز الملف كما هو مبين في الشكل (١٤)، مما يؤدي إلى زيادة قوة المجال المغناطيسي بشكل كبير بسبب النفاذية المغناطيسية المرتفعة للحديد المطاوع، وإلى تركيز خطوط المجال المغناطيسي.

وتعطى كثافة المجال المغناطيسي(B) عند مركز ملف حلزوني طويل بالعلاقة الآتية:

كثافة المجال المغناطيسي(B)= الإنفاذية المطلقة لمادة قلب الملف × عدد اللفات لكل متر × التيار

$$B = \frac{\mu \times N \times I}{L}$$

حيث أن:

μ= الإنفاذية المطلقة لمادة قلب الملف

N= عدد اللفات الكلي للملف.

L= طول الملف بالمتر.

I =تيار الملف بالأمبير.

مـــثـــال ٣

ملف حلزوني طوله 0.1 متر ، عدد لفاته 100 لفة، قيمة التيار المار في الملف 1أمبير، أوجد كثافة المجال المغناطيسي عند مركز الملف إذا علم أن معامل الإنفاذية النسبي لمادة قلب الملف يساوي 79.577

الحـــــــــل

$$B = \frac{\mu \times N \times I}{L}$$

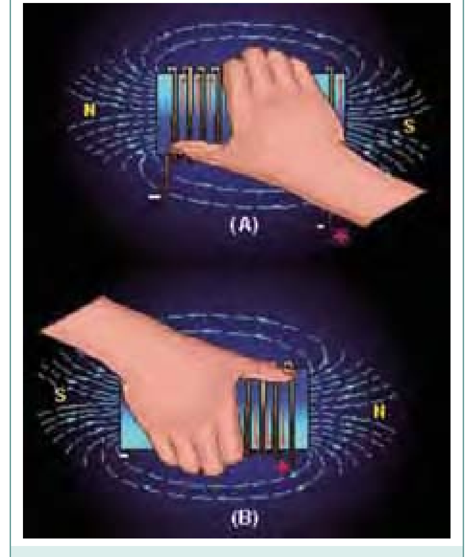
$$B = \frac{\mu_r \mu_0 \times N \times I}{L}$$

$$B = \frac{79.577 \times 12.57 \times 10^{-7} \times 100 \times 1}{0.1}$$

$$B = 0.1\ T$$

د قاعدة اليد اليسرى للملف:

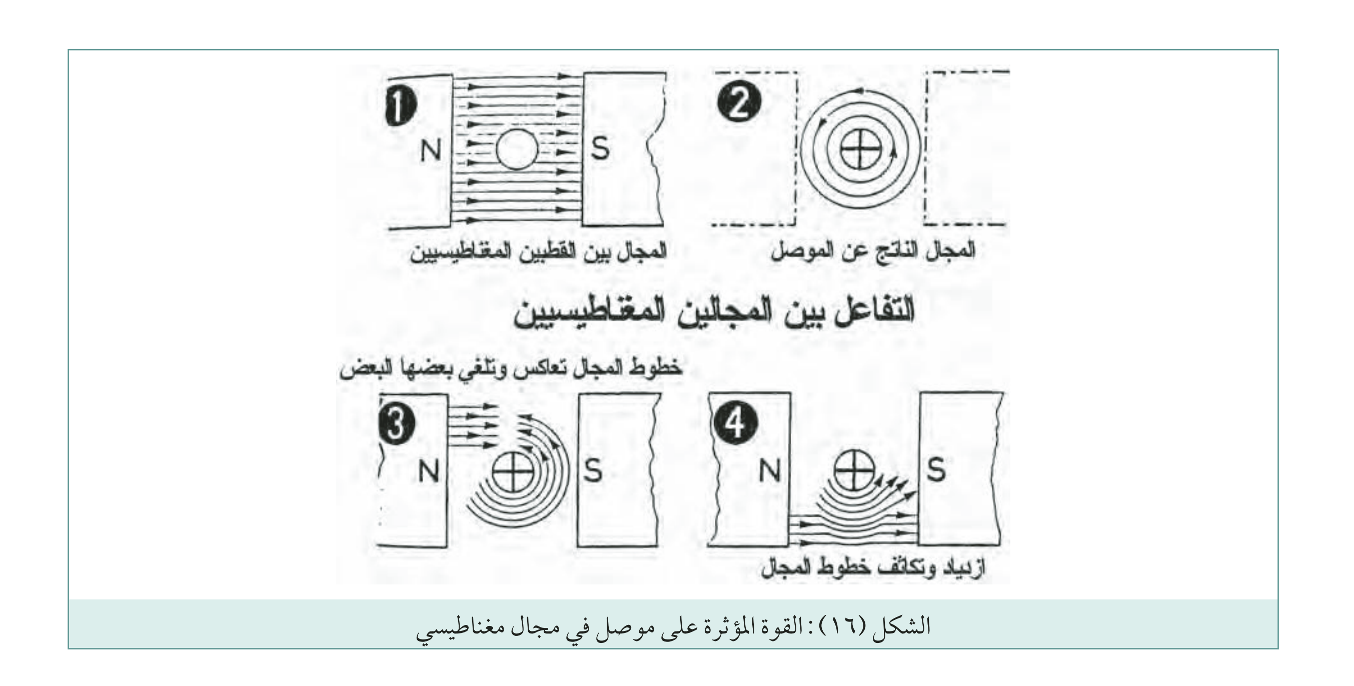
هناك قاعدة معروفة لتعيين قطبية أي ملف يسري فيه تيار كهربائي، تعرف بقاعدة اليد اليسرى للملف. ويوضح الشكل (١٥) هذه القاعدة، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليسرى على محور الملف، بحيث تتجه أصابع يدك باتجاه سريان التيار المار في الملف، عندئذ يكون امتداد إصبع الإبهام دالاً على القطب الشمالي، ويكون الطرف الآخر هو القطب الجنوبي.



الشكل (١٥): قاعدة اليد اليمنى لتعيين قطبية ملف يمر فيه تيار كهربائي

هـ القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي:

مر معك أنه إذا سرى تيار كهربائي في موصل ينشأ حول هذا الموصل مجال مغناطيسي. ولكن إذا وضع هذا الموصل في مجال مغناطيسي آخر يحصل تفاعل بين المجالين يؤدي إلى تحريك الموصل. افرض أن موصلاً وضع بين قطبين مغناطيسيين كما هو موضح في الشكل (١٦)، وسرى في الموصل تيار كهربائي باتجاه بعيد عن الناظر (إلى الداخل)، فإن الموصل يتحرك إلى الأعلى نتيجة ازدياد وتكاثف خطوط القوى المغناطيسية تحته. أما إذا عكس اتجاه التيار في الموصل باتجاه الناظر إلى الخارج، يتحرك هذا الموصل إلى الأسفل نتيجة ازدياد وتكاثف خطوط القوى المغناطيسية فوقه.



الشكل (١٦): القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

و قاعدة اليد اليسرى اليمنى للمحرك:

هناك قاعدة معروفة لتحديد اتجاه القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي، تعرف بقاعدة اليد اليسرى للمحرك. ويوضح الشكل (١٧) هذه القاعدة، حيث يشير إصبع الوسطى إلى اتجاه التيار في الموصل، ويشير إصبع السبابة متعامداً على الوسطى إلى اتجاه خطوط المجال، وإصبع الإبهام متعامداً على الوسطى والسبابة إلى اتجاه القوة المؤثرة على الموصل.



الشكل (١٧): قاعدة اليد اليسرى لتحديد إتجاه القوة المؤثرة على موصل في مجال مغناطيسي

ز قيمة القوة المؤثرة على الموصل

تعتمد قيمة القوة المؤثرة على موصل يحمل تيار في مجال مغناطيسي على مايلي:

١ قيمة التيار المار في الموصل(I).

٢ كثافة المجال المغناطيسي الموجود فيه الموصل(B).

٣ طول الموصل(L).

٤ الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي(α).

وتعطى قيمة القوة المؤثرة على موصل بالعلاقة التالية :

القوة المؤثرة (بالنيوتن) =

التيار (بالأمبير)×كثافة المجال المغناطيسي(بالتسلا)×طول الموصل(بالمتر)×جيب الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي

$$F= I \times B \times L \times \sin\alpha$$

ويلاحظ أن القوة تبلغ أقصى قيمة لها إذا كان الموصل عمودي على المجال($\alpha=90^0$) . وتساوي قيمتها الصفر عندما يكون الموصل موازياً لخطوط المجال المغناطيسي($\alpha=0^0$) .

مثال ٤

موصل طوله 0.2 متر يحمل تيار مقداره 15 أمبير، وضع الموصل في مجال مغناطيسي كثافته 0.8 تسلا. احسب القوة المؤثرة على الموصل إذا كانت الزاوية بن الموصل وخطوط المجال المغناطيسي 30^0

الحل

$F = I \times B \times L \times \sin\alpha$

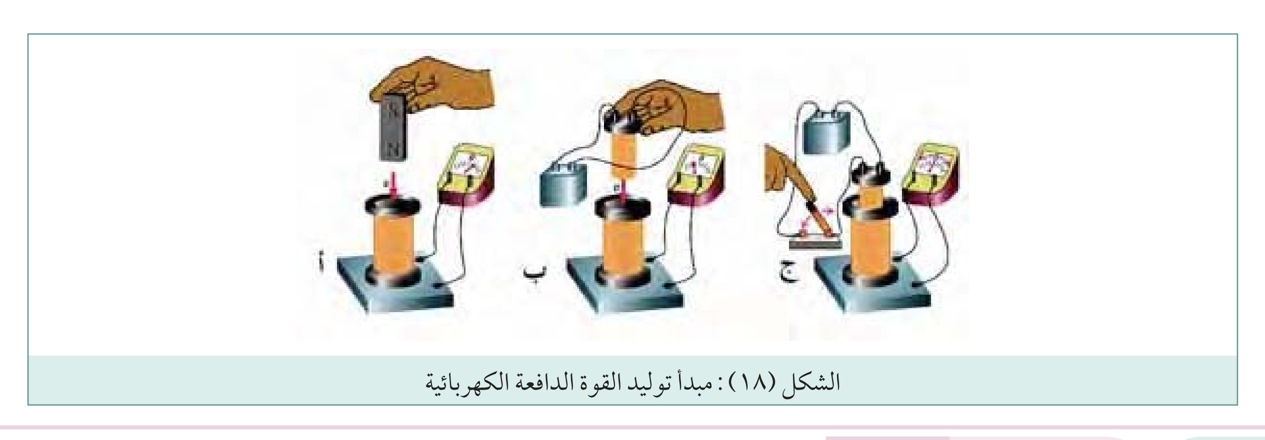
$F = 15 \times 0.8 \times 0.2 \times \sin 30$

$F = 15 \times 0.8 \times 0.2 \times 0.5$

$F = 1.2$ نيوتن

٣ التأثير الكهرومغناطيسي

اكتشف العالم فارادي عام (1831) مبدأ توليد القوة الدافعة الكهر**بائية** (Electro Motive Force) التي يرمز إليها بالأحرف (EMF)، ولقد استعان هذا العالم بموصل على شكل ملف يتصل بجهاز جلفانوميتر لقياس التيار الكهربائي، ويتحرك هذا الملف في مجال مغناطيسي ناتج عن مغناطيس دائم كما موضح في الشكل (١٨) .



الشكل (١٨) : مبدأ توليد القوة الدافعة الكهربائية

لاحظ العالم فارادي أنه عندما يتحرك الموصل ويقطع خطوط المجال المغناطيسي، يتحرك مؤشر الجلفانوميتر دالاً على توليد قوة دافعة كهربائية لحظية في هذا الموصل ناتج بالتأثير، وعندما تتوقف حركة الملف يعود مؤشر الجلفانوميتر إلى نقطة الصفر دالاً على زوال هذه القوة. ويمكن الحصول على نفس النتيجة، إذا استخدم مغناطيس كهربائي بدل من المغناطيس الدائم، كما هو مبين في الشكل (٦٢-ب). كما يمكن تثبيت الموصل وتحريك المغناطيس أو تقطيع التيار المار في ملف المغناطيس الكهربائي بواسطة مفتاح للحصول على مجال مغناطيسي متحرك.

وتعرف هذه الظاهرة بالتأثير أو الحث أو التحريض الكهرومغناطيسي، أي توليد جهد كهربائي في الموصل ناتج عن وجود حركة نسبية بينها وبين مجال مغناطيسي معين.

أ العوامل المؤثرة على قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير:

تعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير في موصل، على العوامل الآتية:

- كثافة المجال المغناطيسي الذي يتحرك فيه الموصل (B).
- السرعة التي يقطع بها الموصل خطوط المجال المغناطيسي (v).
- طول الموصل (L).
- الزاوية التي يقطع بها الموصل خطوط المجال المغناطيسي (θq)

القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية (بالفولت) = السرعة (بالمتر/ ثانية) × كثافة المجال المغناطيسي (بالتسلا) × طول الموصل (بالمتر) × جيب الزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسي.

$$E = V \times L \times B \times \sin\theta$$



الشكل (١٩): قاعدة اليد اليمنى اليسرى للمولد لتحديد إتجاه القوة الدافعة الكهربائية

ب اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير:

إن قطبية القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الموصل بالتأثير وبالتالي اتجاه التيار الناتج عنها، تعتمد على اتجاه الحركة النسبية بين الموصل وخطوط المجال المغناطيسي، أي الاتجاه الذي يقطع به الموصل خطوط المجال المغناطيسي.

ولتعيين اتجاه القوة الدافعة الكهربائية، تطبق قاعدة اليد اليمنى للمولد، التي تنص على الآتي: إذا كان إصبع الإبهام يشير إلى اتجاه حركة الموصل، وإصبع السبابة المتعامد على الإبهام يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي، فأن الإصبع الأوسط متعامداً على الإبهام والسبابة سيشير إلى اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الموصل، كما هو موضح في الشكل (١٩).

أسئلة الدرس:

أولاً: المبادئ الأساسية في المغناطيسية

أكمل الفراغات التالية :

١ المواد المغناطيسية هي المواد ....

٢ من أشهر المواد المغناطيسية ....و................................و................................

٣ المواد غير المغناطيسية هي المواد ....

٤ من الأمثلة على المواد غير المغناطيسية ....و..........................و..........................

٥ المغناطيس الطبيعي هو أحد ....

٦ تتم مغنطة المواد المغناطيسية بثلاثة طرق ، هي :

أ .... ب .... جـ ....

٧ يصنع المغناطيس الدائم من ....

٨ لكل مغناطيس قطبين مغناطيسيين ، هما :

أ القطب .... ويرمز له بالحرف ....

ب القطب .... ويرمز له بالحرف ....

٩ أ الأقطاب المتشابهة .... والأقطاب المختلفة ....

ب المجال أو الحقل المغناطيسي هو المنطقة ....

جـ خطوط القوى المغناطيسية هي ....

١٠ أهم مميزات خطوط القوى المغناطيسية :

أ .... ب ....

١١ الكثافة المغناطيسية هي .... وتقاس بوحدة ....

١٢ النفاذية المغناطيسية تعبر عن قدرة المواد على ....

١٣ المواد المغناطيسية لها معامل نفاذية ....

المواد غير المغناطيسية لها معامل نفاذية ....

١٤ ارسم خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس دائم .

١٥ اشرح مع الرسم النظرية الذرية للمغناطيسية؟

ثانياً: الكهرومغناطيسية

أكمل الفراغات التالية :

١ عندما يسرى تيار كهربائي في موصل يتولد ....

٢ يكون شكل المجال المغناطيسي المتولد حول موصل مستقيم على شكل ....

٣ المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف يشبه ....

٤ يمكن زيادة شدة المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف بثلاثة طرق ، هي :

أ .... ب .... ج ....

٥ ارسم خطوط المجال المغناطيسي حول الموصلات التالية :

٦ ارسم خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس الكهربائي .

٧ باستخدام قاعدة اليد اليمنى للمحرك ، حدد اتجاه القوة المؤثرة على الموصلات التالية :

٨ ارسم رسماً توضيحياً مبسطاً يبين تركيب المرحل الكهرومغناطيسي .

ثالثاً: التأثير الكهرومغناطيسي

أكمل الفراغات التالية :

١ التأثير الكهرومغناطيسي هو ....

٢ تعتمد قيمة الجهد التأثيري على العوامل التالية :

أ .... ب .... ج ....

٣ الجهد أو التيار الذي ينتجه مولد التيار المتغير يتبع منحنى ....

٤ ارسم منحنى موجة الجهد التي ينتجها ملف مولد التيار المتغير المبين في الشكل أدناه عندما تتم دورة كاملة .

٥ التأثير المتبادل هو : ....

٦ اذكر استخدامات التأثير المتبادل في التطبيقات العملية؟

٧ التأثير الذاتي هو : ....

٨ قطبية الجهد التأثيري العكسي المتولد في ملف ما تكون بحيث ....

٩ الحثية هي ....

١٠ اذكر وحدة قياس الحثية ورمزها وجزيئاتها؟

١١ اذكر العوامل التي تحدد قيمة حثية الملف :

أ .... ب .... ج ....

د .... هـ .... و ....

١٢ اذكر مضار الجهد التأثيري العكسي المتولد عند قطع التيار الكهربائي المار عبر ملفات دارة كهربائية .

١٣ اذكر أحد استخدامات الجهد التأثيري العكسي .

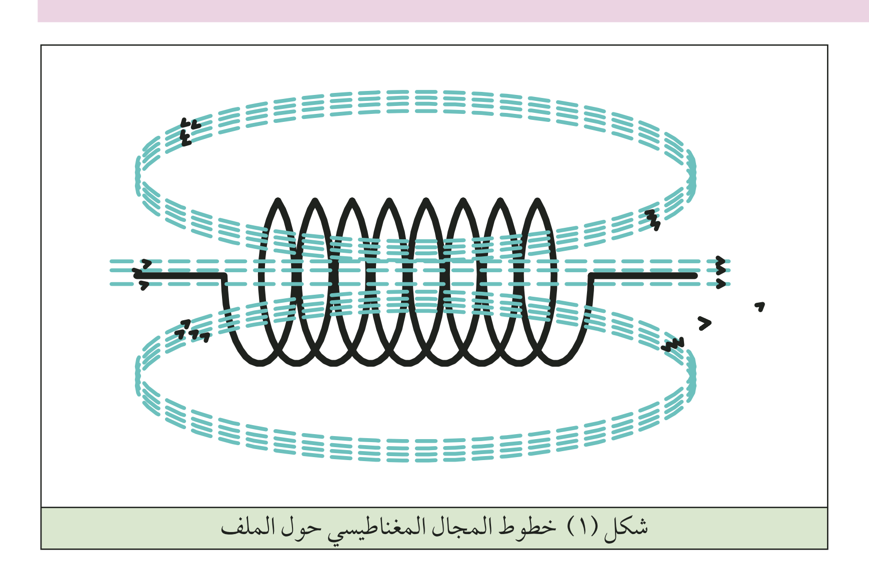
١٤ ملف تبلغ حثيته (3) هنري . انهار التيار المار في هذا الملف من (10) إلى (0) أمبير في زمن مقداره (5) ميلي ثانية (0.005 ثانية) . احسب قيمة الجهد التأثيري المتولد في الملف .

الملفات

الملفات هي إحدى عناصر الدارات الإلكترونية و الكهربائية كثيرة الإستخدام، فلا يكاد يخلو منها جهاز الكتروني كالكمبيوتر، التلفاز، الراديو، المسجل، جهاز الهاتف الثابت والنقال، ولا جهاز كهربائي كالثلاجة، المروحة، الغسالة والخلاط. تعددت استخدامات الملفات، أحجامها و أشكالها. ماهو الملف وما هو مبدأ عمله؟

الملف والحث الذاتي:

عند لف سلك كهربائي معزول على قلب هوائي او قلب حديدي أو قلب فيرايت (برادة الحديد) أو أي مادة أخرى نحصل على ما يسمى بالملف. عندما يسري تيار كهربائي في سلك الملف، يتولد مجال مغناطيسي حول الملف تتناسب شدته مع شدة التيار الكهربائي المار في الملف كما في الشكل (١).



شكل (١) خطوط المجال المغناطيسي حول الملف

وهكذا فان الملف يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة مغناطيسية يختزنها داخل المجال المغناطيسي المحيط به والذي يمكن تركيزه في القلب. عند حدوث تغيير (زيادة او نقصان) في شدة التيار الكهربائي المار في ملف، ينعكس ذلك على شدة المجال المغناطيسي المنتشر حول هذا الملف. فعندما تزداد شدة التيار المار في الملف، تزداد شدة المجال المغناطيسي. وعندما تنخفض شدة التيار تقل شدة المجال المغناطيسي. إن التغير في شدة المجال المغناطيسي يمكن تخيله على شكل وجود خطوط مجال مغناطيسي متحركة تقطع لفات الملف نفسه، و حسب قانون فارادي فان هذا يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيار الأصلي المار في الملف. اتجاه هذا التيار يعطى حسب قانون لينز الذي ينص على أن " القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية تولد تيارا يعمل على توليد مجال مغناطيسي يعاكس تأثير المجال المغناطيسي الذي أدى إلى توليد هذا التيار".

فمثلا إذا تناقصت شدة التيار الأصلي، تعمل قطبية القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية على توليد تيار بنفس اتجاه التيار الأصلي و بالتالي محاولة منع تناقص التيار الأصلي. وإذا تزايدت شدة التيار الأصلي، تعمل قطبية القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية على توليد تيار بعكس اتجاه التيار الأصلي و بالتالي محاولة منع تزايد التيار الأصلي.

ان الظاهرة التي تعمل على منع التغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف تسمى بالحث الذاتي للملف ويرمز لمعامل الحث الذاتي بالرمز L. هذا و يمكن تعريف الحث الذاتي بطريقة أخرى بأنه عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي خلال دائرة كهربائية فانه يتولد فيها قوة محركة كهربائية تأثيرية يتناسب مقدارها مع معدل تغير التدفق بالنسبة للزمن.

يقاس الحث الذاتي للملف بوحدة قياس تسمي هنري (Henry) نسبة إلى العالم الامريكي (Joseph Henry) و يعرف الهنري بأنه الحث الذاتي لملف تتولد فيه قوة محركة كهربائية تأثيرية مقدارها ١ فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل ١ أمبير/ ثانية. ويختلف المدى المستخدم لقيمة الحث في الدارات الإلكترونية من ميكروهنري للملفات المستخدمة في أجهزة الإتصالات ذات الترددات العالية إلى عدة مئات من وحدات الهنري للملفات المستخدمة في شبكات القوى. وعليه فان الهنري وحدة كبيرة بالنسبة للدارات الالكترونية ولهذا فاننا نستخدم أجزاء الهنري، وهي:

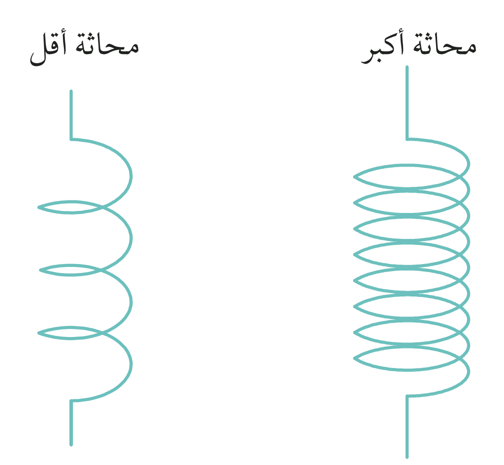
- الميلي هنري (mH) ويساوي 10^{-3} هنري.
- الميكرو هنري (μH) ويساوي 10^{-6} هنري.

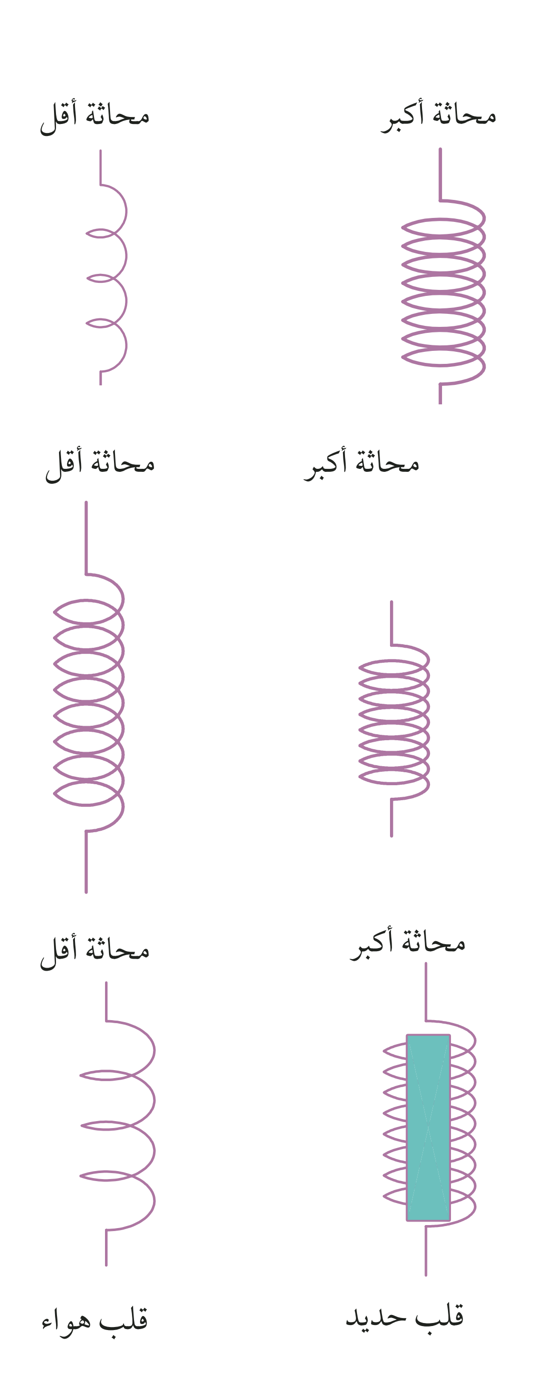
العوامل المؤثرة في قيمة حثية الملف:

هناك عدة عوامل رئيسية في تركيبة الملفات تحدد مقدار الحثية الناتجة اربع منها يمكن قياسها. هذا وتعتمد هذه العوامل الاربعة على مقدار التدفق المغناطيسي الناتج عن مقدار محدد من التيار الكهربائي وهي:

١ عدد لفات الملف:

كلما زادت عدد لفات الملف، زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف.





٢ مساحة مقطع الملف:

كلما زادت مساحة مقطع الملف، زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف.

٣ طول الملف:

كلما زاد طول الملف، قلت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله و بالتالي نقصان في حثية هذا الملف.

٤ مادة القلب:

كلما كانت نفاذية المادة التي لف عليها الملف أعلى كانت الحاثية اكبر و ذلك لكون التدفق المغناطيسي اكبر للقلب ذو النفاذية الاعلى.

وهناك عاملان اخران لا يمكن قياسهما يؤثران على قيمة الحثية للملف هما:

١ شكل القالب الملفوف عليه الملف

٢ طريقة لف الملف و عدد الطبقات التي يتكون منها الملف.

ويمكن حساب قيمة الحثية لملف بشكل تقريبي من العلاقة التالية:

$$R_s = \frac{N^2 \mu A}{\ell}$$

حيث أن :

L = حثية الملف مقاسة بالهنري

N = عدد لفات الملف (للسلك المستقيم = ١)

μ = معامل النفاذية لمادة القلب

A = مساحة الملف بالمتر المربع

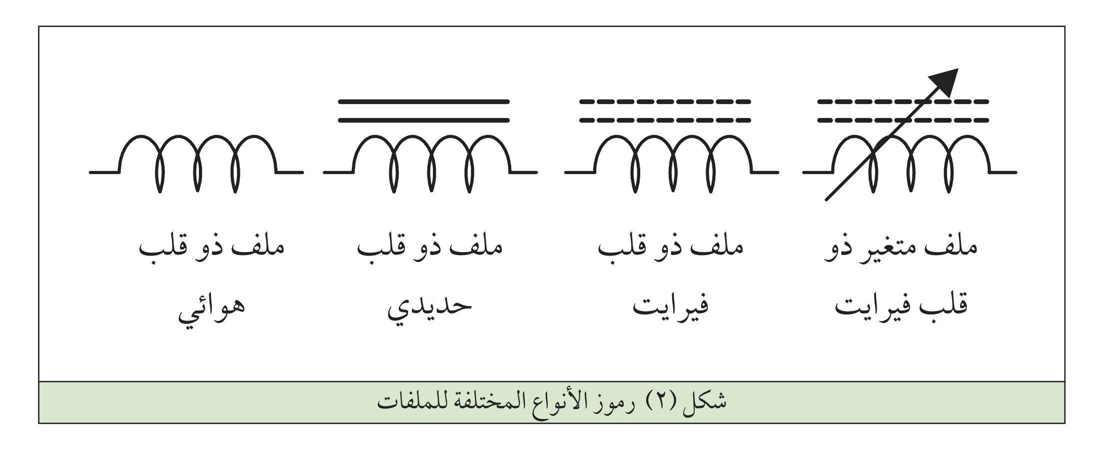
ℓ = متوسط طول الملف مقاس بالمتر

ســــــؤال

احسب حثية ملف عدد لفاته ٥٠٠ لفة ملفوف على قلب حديد بمتوسط نصف قطر ١ سم وبطول ٢ سم .

أنواع الملفات وإستخداماتها:

يبين الشكل (٢) بعض أنواع الملفات ورموزها، وهذه الأنواع هي :



شكل (٢) رموز الأنواع المختلفة للملفات

١ ملف ذو قلب هوائي:

الملف ذو القلب الهوائي هو عبارة عن سلك من النحاس المعزول بالورنيش وهو ذو مقاومة صغيرة وملفوف على اسطونة من البكاليت أو مفرغ، ويستعمل في الدارات الالكترونية ذات الترددات الراديوية RF .

٢ ملف ذو قلب حديدي:

يكون سلك الملف ملفوف حول قلب من شرائح الحديد المعزول، ويستخدم كخانق للترددات، ويستعمل في دائرة المرشح بعد عملية التوحيد (في دارات تحويل الجهد المتغير إلى جهد مستمر) أو في دائرة مصباح الفلورسنت .

٣ ملف ذو قلب فيرايت:

الفيرايت مادة خزفيةهشة ذات خواص مغناطيسية مشابهة للحديد، ويستخدم الملف الملفوف على قلب الفيرايت في صنع الهوائي الداخلي لجهاز الراديو الترانزستور، أو في مرحلة الترددات المتوسطة، حيث يمكن تغيير حثه الذاتي بتحريك القلب الفيرايت داخل الملف (بواسطة مفك مصنوع من مادة غير مغناطيسية مثل البلاستيك).

ملاحظة: يمكن تصنيف الملفات أعلاه بطريقة أخرى اعتماداً على التردد.

قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية:

ان التغير في شدة التيار المار في الملف بالنسبة للزمن، يؤدي إلى تغير في شدة المجال المغناطيسي الناتج عن هذا التيار. التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف.

تعطى قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة بالتأثير في ملف بالعلاقة التالية: $emf = -N \frac{d\phi}{dt}$

حيث ان $d\phi$ تمثل مقدار التغير في التدفق (الفيض) خلال الفترة الزمنية dt، وحيث أن التغير في شدة المجال ناتج عن التغير في شدة التيار di فيمكن اعتبار ان التغير في شدة التيار الكهربائي خلال الزمن يتناسب طرديا مع القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية: $emf \; \alpha \; \frac{di}{dt}$

والتي يمكن اعادة كتابتها بالشكل التالي: $emf = -L \frac{di}{dt}$

حيث ان الثابت L يمثل حثية الملف

مــــثــــال

دارة كهربائية ذات حثية مقدارها (4) هنري. انهار التيار المار في الدارة من (2) إلى (صفر) أمبير، في زمن مقداره (5) ميلي ثانية (0.005 ثانية). احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في الدارة.

الحــــــل

$$emf = -L \frac{di}{dt}$$

$$emf = -4 \frac{2-0}{0.0005}$$

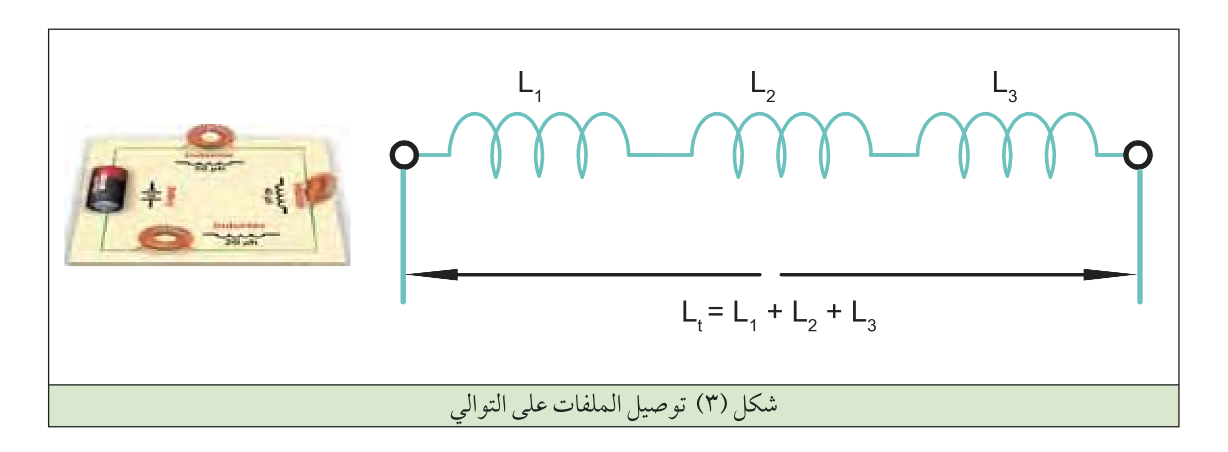
$$= -1600 \text{ V}$$

يُظهر هذا المثال بأن انهيار التيار فجائياً في دارات الملفات ينتج جهداً تأثيرياً مرتفعاً جداً، يؤدي إلى توليد قوس كهربائي بين نقاط التوصيل في المفاتيح والقواطع المغناطيسية يعرضها على المدى الطويل إلى الاحتراق والتلف.

وتستخدم هذه الظاهرة في العديد من الأجهزة الكهربائية لإنتاج جهد كهربائي مرتفع القيمة فعلى سبيل المثال، يقوم الموزع في نظام الاشتعال في السيارات بتقطيع التيار في ملف الاشتعال، لإنتاج الجهد العالي اللازم لتوليد الشرار في شمعات الاحتراق.

توصيل الملفات على التوالي:

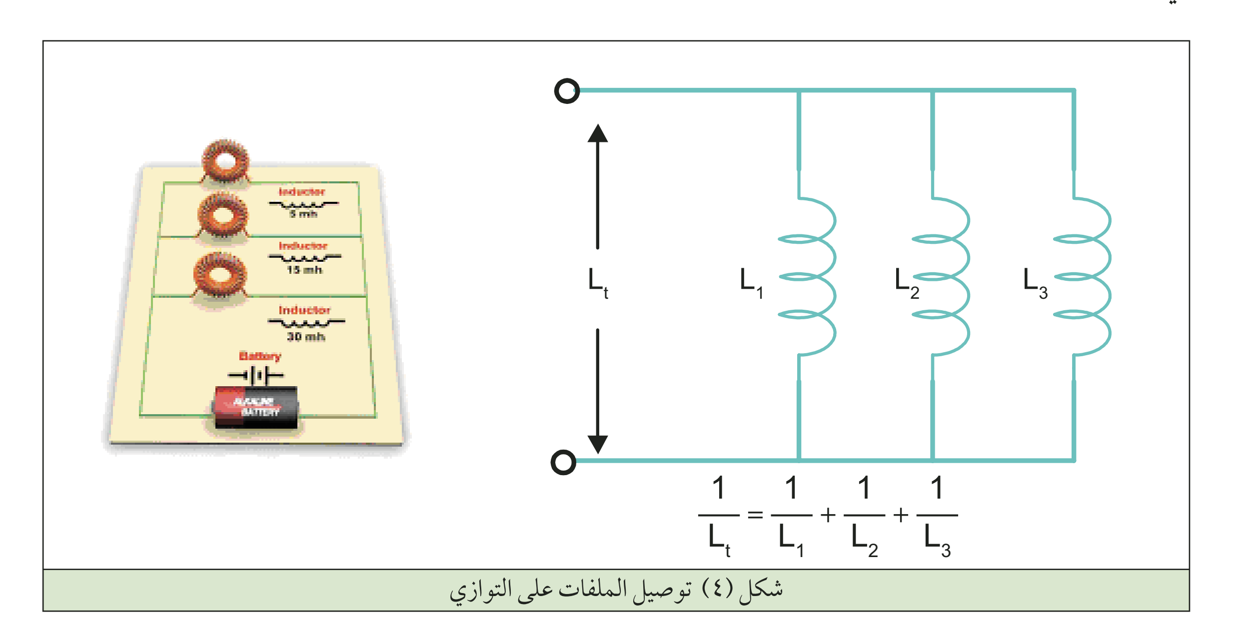
عند توصيل الملفات على التوالي كما هو مبين في الشكل (٣) فإن المحاثة الكلية L_t تحسب من القانون:



شكل (٣) توصيل الملفات على التوالي

توصيل الملفات على التوازي:

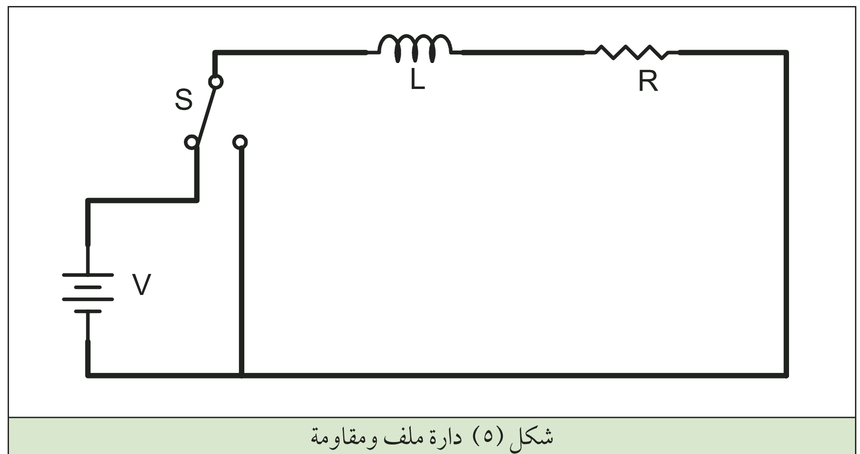
عند توصيل الملفات على التوازي كما هو مبين في الشكل (٤) فإن المحاثة الكلية L_t تحسب من القانون الآتي:



شكل (٤) توصيل الملفات على التوازي

الملف في دارات التيار المستمر:

للتعرف على سلوك الملف في دارات التيار المستمر سوف ندرس الدارة التالية حسب الشكل (٥) والتي تسمى دارة RL



شكل (٥) دارة ملف ومقاومة

يوجد ثلاث حالات نرغب في دراستها وتحليلها هي:

الحالة الاولى / عند اغلاق المفتاح:

١ عند اغلاق المفتاح في الوضع (أ) فاننا نعمل على تطبيق جهد البطارية على الدارة .

٢ تبدأ شدة التيار الكهربائي المار بالدارة بالتغير من قيمة الصفر صعوداً إلى أعلى قيمة له (القيمة العظمى للتيار تحسب من خلال قانون اوم) خلال فترة زمنية محددة (تعتمد على قيمة كل من المقاومة وحثية الملف) .

٣ خلال هذه المرحلة يعمل الملف على توليد مجال مغناطيسي تتغير شدته صعوداً من قيمة الصفر .

٤ التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية عكسية تقارب في قيمتها الابتدائية مقدار جهد المصدر(كون التيار الابتدائي= صفر فان الجهد المطبق على المقاومة حسب قانون اوم يساوي صفراً .

٥ هذه القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف .

٦ مع ازدياد شدة التيار الكهربائي الاصلي المار في الدارة يبدأ الجهد المطبق على الملف بالتناقص (الجهد المطبق على الملف = جهد المصدر – الجهد المطبق على المقاومة) .

٧ عندما تصل شدة التيار الكهربائي الاصلي المار في الدارة إلى أعلى قيمة يصبح الجهد المطبق على طرفي الملف = صفر .

ان الزمن اللازم لوصول التيار المار في الدارة إلى 63.2% من قيمته النهائية يسمى الثابت الزمني للملف ويعطى من خلال العلاقة : $\tau = L/R$

حيث : τ = الثابت الزمني للملف مقاسا بالثانية .

L = حث الملف مقاسا بالهنري .

R = المقاومة الاومية للدائرة مقاسة بالاوم .

الحالة الثانية / عند استقرار قيمة التيار:

تبقى شدة المجال المغناطيسي المتولدة حول الملف ثابتة في المقدار و الاتجاه و كنتيجة لذلك فإن الملف لا يُبدي أية ممانعة لمرور التيار .

الحالة الثالثة / عند اغلاق المفتاح:

١ عند اغلاق المفتاح في الوضع (ب) فاننا نعمل على احداث دارة قصر على الدارة .

٢ تبدأ شدة التيار الكهربائي المار بالدارة بالتغير من القيمة العظمى هبوطا إلى قيمة الصفر .

٣ خلال هذه المرحلة تتغير شدة المجال المغناطيسي هبوطا .

٤ التغير في شدة المجال المغناطيسي يؤدي إلى توليد قوه دافعة كهربائية تأثيرية عكسية .

٥ هذه القوه الدافعة الكهربائية التأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تياركهربائي ذو اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيارالأصلي المار في الملف .

٦ هذا سيؤدي إلى تأخير تناقص شدة التيار الاصلي وصولا إلى قيمة الصفر .

الطاقة المختزنة في الملف:

تعطى الطاقة المختزنة في الملف بالعلاقة التالية :

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

مقارنة بين الملف والمكثف:

اولاً / الملف:

١ الجهد على الملف يساوي صفراً اذا كان التيار المار فيه ثابت القيمة لايتغير مع الزمن ، واذن فالملف دارة قصر بالنسبة للتيار المباشر (DC) .

٢ كمية محدودة من الطاقة يمكن تخزينها في الملف .

٣ من غير الممكن تغيير التيار المار في الملف في زمن مقداره صفر .

٤ الملف لا يبدد الطاقة و لكنه يختزنها وهذا على فرض ان الملف مثالي و مقاومته تساوي الصفر .

ثانياً / المكثف:

١ التيار المار في المكثف يساوي الصفر إذا كان فرق الجهد علية ثابت القيمة لا يتغير مع الزمن وإذن فالمكثف دارة مفتوحة بالنسبة للتيار المباشر (DC) .

٢ كمية محدودة من الطاقة يمكن تخزينها في المكثف .

٣ من غير الممكن تغيير الجهد على المكثف في زمن مقداره صفر .

٤ المكثف لا يبدد الطاقة ولكنه يخزنها على فرض ان المكثف مثالي ومقاومته عالية جداً .

أسئلة

١ على ماذا ينص قانون لينز؟

٢ عدد العوامل المؤثرة في قيمة حثية الملف .

٣ دارة كهربائية ذات حثية مقدارها (2) هنري . انهار التيار المار في الدارة من (1) إلى (صفر) أمبير ، في زمن مقداره (10) ميلي ثانية (0.01 ثانية) . احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكسية المتولدة في الدارة .

٤ هل يبدد الملف طاقة؟ علل إجابتك؟

المبادئ الأساسية للتيار المتناوب

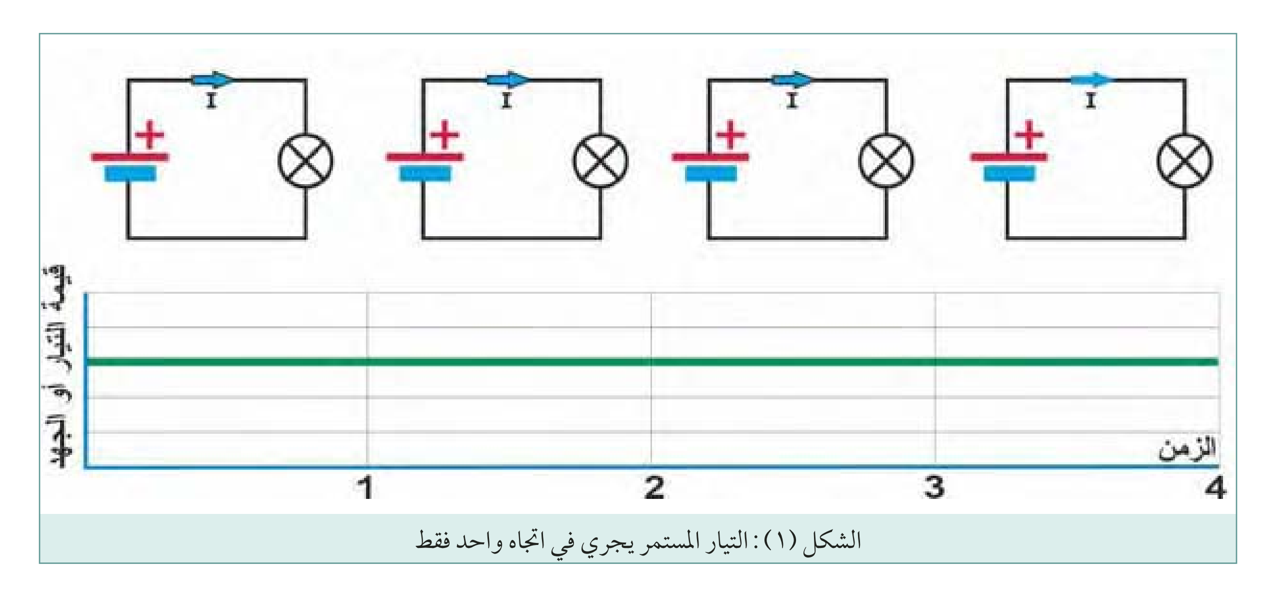
في الدروس السابقة، تعاملنا بشكل رئيسي مع التيار المستمر (DC)، وفي هذه الدرس سنشرح التيار المتناوب (AC) الشائع الاستعمال في البيوت والمصانع، والذي نحصل عليه بصورة رئيسية من مولدات التيار المتناوب العائدة لسلطة أو شركة الكهرباء. فما الذي يميز هذا التيار عن التيار المستمر؟وما خصائصه؟

نجيب في هذا الدرس على هذه التساؤلات فنبين خصائص ومميزات وكيفية توليد التيار المتناوب، ونناقش المفاهيم الأساسية المتعلقة به مثل التردد وفرق الطور.

ما الذي يميز التيار المتناوب عن التيار المستمر؟

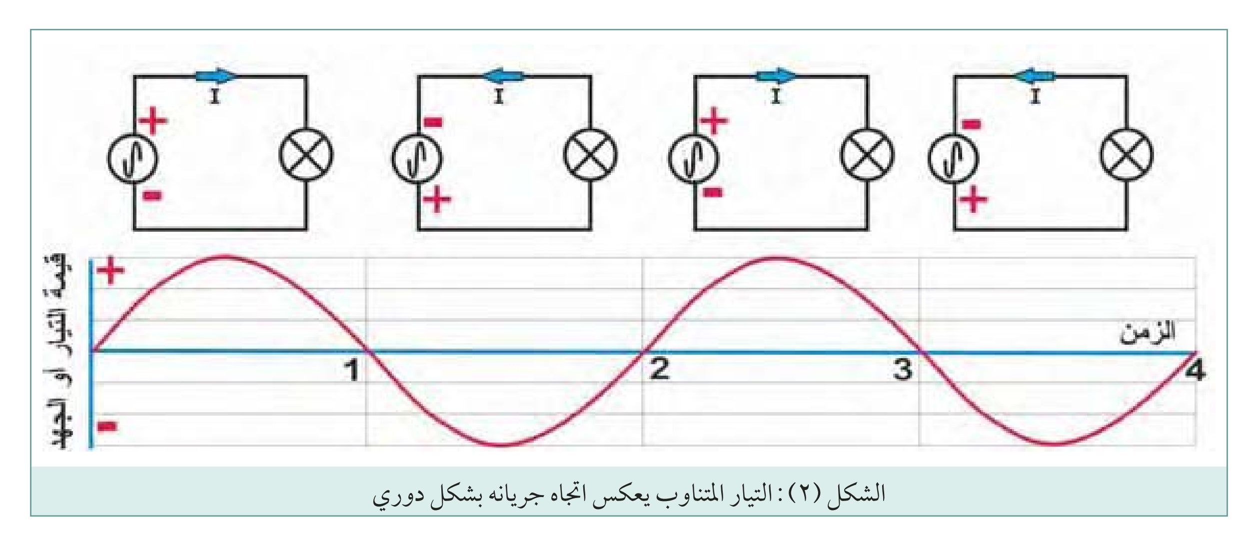
يختلف التيار المتناوب عن التيار المستمر في النقاط التالية:

- التيار المستمر ثابت القيمة والاتجاه بمرور الزمن، وذلك بسبب ثبات قطبية مصدر الجهد المستمر. الشكل (١) التيار المستمر ثابت الاتجاه، أما التيار المتناوب فيعكس اتجاه جريانه بشكل دوري.



الشكل (١): التيار المستمر يجري في اتجاه واحد فقط

- أما التيار المتناوب فيعكس اتجاه جريانه بشكل دوري، لان قطبية طرفي مصدر الجهد المتناوب تنعكس بشكل دوري بين الموجب والسالب. كما أن القيمة اللحظية للتيار والجهد المتناوب تتغير باستمرار مع الزمن. إن التيار المتناوب الذي تزودنا به سلطة أو شركة الكهرباء يعكس اتجاه جريانه خمسين مرة في الثانية الواحدة.

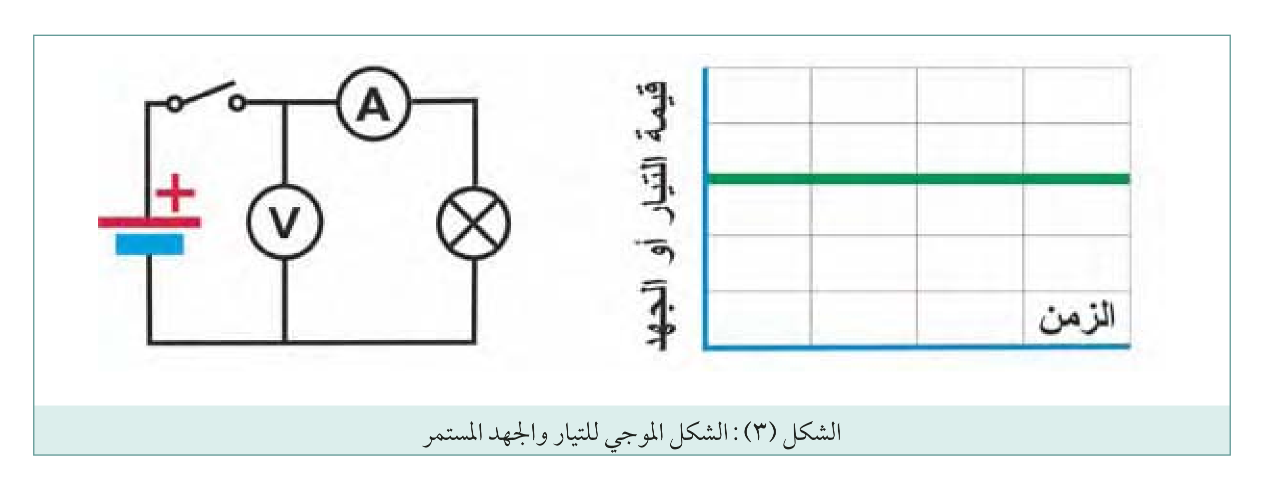


الشكل (٢) : التيار المتناوب يعكس اتجاه جريانه بشكل دوري

- نحصل على التيار المستمر من البطاريات ومولدات التيار المستمر ، ودارات التوحيد الإلكترونية التي تقوم بتحويل التيار المتناوب العام إلى تيار مستمر . أما التيار المتناوب فنحصل عليه بصورة رئيسية من مولدات التيار المتناوب العائدة لسلطة أو شركة الكهرباء . وسنشرح لاحقا كيفية توليد التيار المتناوب .
- يمكن استخدام المحولات الكهرومغناطيسية لرفع أو خفض الجهد المتناوب ، وذلك بسهولة وبدون خسائر في القدرة . أما معدات وأجهزة تحويل التيار المستمر من مستوى إلى آخر فتعتبر حتى الآن معقدة ومنخفضة الكفاءة وهذا هو السبب الرئيسي الذي أدى إلى اعتماد التيار المتناوب في أنظمة إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في جميع أنحاء العالم .

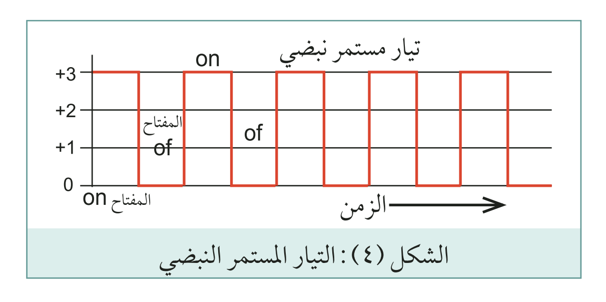
١ الأشكال الموجية (Waveforms)

الشكل الموجي عبارة عن رسم بياني يبين نمط التغيرات في قيمة الجهد أو التيار بمرور الزمن . الشكل الموجي للتيار أو الجهد المستمر عبارة عن خط مستقيم . ويمكن استنتاج الشكل الموجي للتيار والجهد المستمر بواسطة الدارة البسيطة المبينة في الشكل (٣) . فإذا قمنا بتسجيل قياسات التيار والجهد عند القيم نفسها خلال فترة التجربة . وعند رسم منحنى العلاقة بين التيار والجهد مع الزمن ، سوف نحصل على خط مستقيم كما هو مبين في الشكل (٣) .



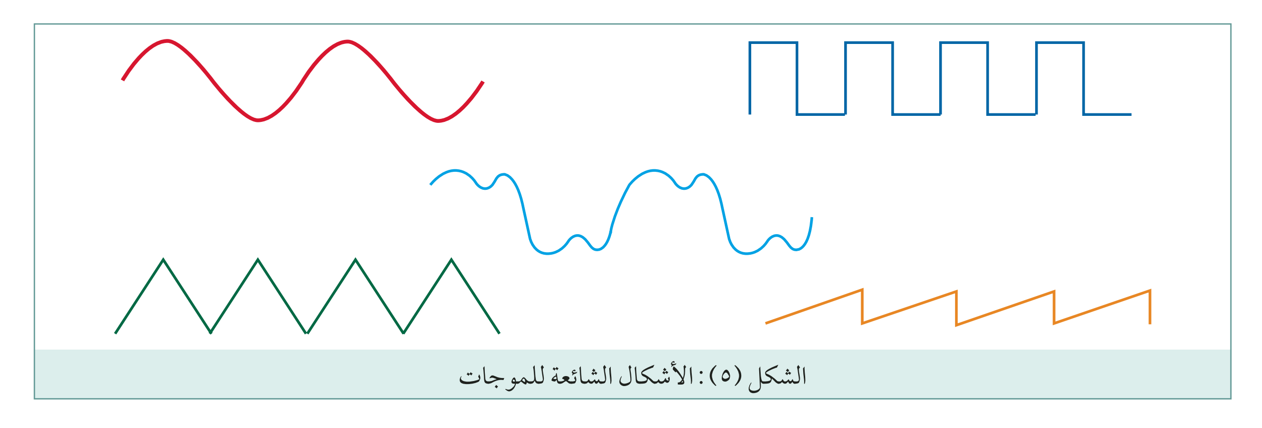
الشكل (٣) : الشكل الموجي للتيار والجهد المستمر

إما إذا استخدمنا مفتاح لتقطيع التيار عبر المقاومة بشكل منتظم، فسوف نحصل على موجة تيار مستمر نبضية . . ، كما هو مبين في الشكل (٤)



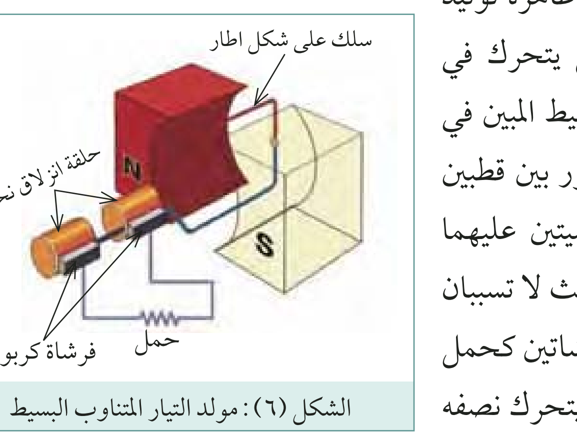
الشكل (٤): التيار المستمر النبضي

هناك العديد من أشكال الموجات التي نجدها في الدارات الكهربائية، ومن بين تلك الأنواع: الموجة الجيبية، والموجة المربعة والموجة المثلثة وموجة سن المنشار والنبضات . وهناك أيضا الموجات المعقدة التي تتكون من العديد من المكونات عند ترددات مختلفة .


الشكل (٥): الأشكال الشائعة للموجات

٢ توليد التيار المتناوب:

يعتمد مولد التيار المتناوب في مبدأ عمله على ظاهرة توليد القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الناتجة في موصل يتحرك في مجال مغناطيسي . ويتكون مولد التيار المتناوب البسيط المبين في الشكل (٦) من ملف، يدور بسرعة ثابتة حول محور بين قطبين مغناطيسيين، وصلت نهايتيه بحلقتي انزلاق نحاسيتين عليهما فرشاتان من الكربون تنزلقان على هاتين الحلقتين بحيث لا تسببان إعاقة للدوران . كما وصلت مقاومة خارجية مع الفرشاتين كحمل للدارة . فعندما يدور الإطار باتجاه عقارب الساعة، يتحرك نصفه الأول إلى الأسفل (في المجال) بالقرب من القطب الجنوبي، بينما يتحرك نصفه الآخر إلى الأعلى بالقرب من القطب الشمالي . وبهذا فإن الجهد المتولد بالتأثير في أحد النصفين يدعم الجهد المتولد بالتأثير في النصف الآخر، تماماً كما لو وصلت بطاريتين على التوالي . وهذا الجهد يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي في مقاومة الحمل عبر حلقتي الانزلاق والفرش الكربونية .



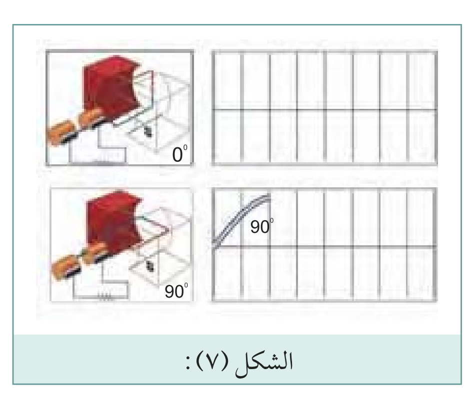
الشكل (٦): مولد التيار المتناوب البسيط

ولكي ترى كيف يتم توليد هذا الجهد، عليك أن تتابع حركة الملف (الإطار) وهو ينجز دورة كاملة في أوضاعه المختلفة:

أ الوضع (0-90):

عندما تكون الزاوية (صفراً) بين مستوى الملف وخطوط المجال تكون حركة أطراف الملف موازية لخطوط المجال المغناطيسي (لا تقطعها)، فلا يكون هناك أي جهد تأثيري في هذه اللحظة.

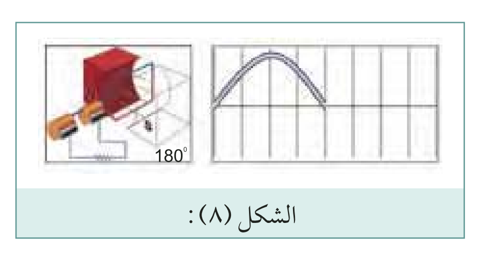
وما أن يدور الملف حتى يبدأ بقطع خطوط المجال المغناطيسي، فيتولد فيه جهد تأثيري. ويبدأ هذا الجهد بالارتفاع حتى يصل إلى قيمته العظمى عند الزاوية (90) درجة، حيث يقطع الملف أكبر عدد من خطوط المجال بشكل عمودي، كما هو موضح في الشكل (٨).



الشكل (٧):

ب الوضع (90 - 180):

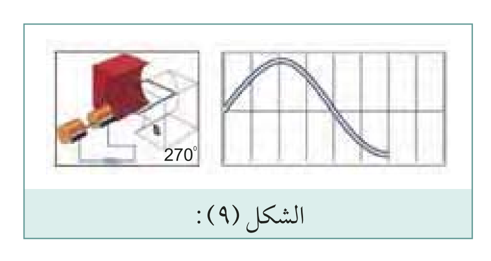
عندما تزيد زاوية الدوران عن(90) درجة، يبدأ الجهد بالانخفاض لأن الملف يقطع عدداً أقل من خطوط المجال. وعندما يصل الزاوية (180) درجة، يصبح الجهد التأثيري المتولد (صفراً) مرة ثانية، لأن الملف يتحرك موازياً لخطوط المجال المغناطيسي، كما مبين في الشكل (٩).



الشكل (٨):

جـ الوضع (180-270):

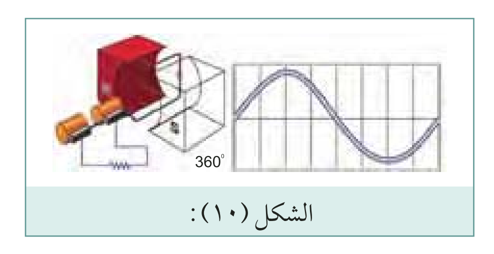
عندما تزيد زاوية الدوران عن (180)درجة، يبدأ الجهد بالارتفاع لأنه يقطع خطوط المجال مرة ثانية. ولكن في هذه اللحظة، تنعكس قطبيه الملف بسبب انعكاس اتجاه طرفيه بالنسبة لخطوط المجال المغناطيسي. ويتشكل الجهد السالب الأعظم عند الزاوية (270) درجة، لأن الملف في هذه النقطة يقطع خطوط المجال بشكل عمودي.



الشكل (٩):

د الوضع (270 - 360):

وعندما يتجه الملف نحو النقطة التي بدأ فيها الدوران، يبدأ الجهد بالانخفاض ثانية نحو (الصفر). ويدعى منحنى الجهد المبين في الشكل (36) باسم "موجة جيبية"، حيث تتشكل موجة جيبية واحدة عند كل دورة كاملة للملف.



الشكل (١٠):

إن التيار الكهربائي العام الذي يصل المنازل والمصانع من شركة الكهرباء، هو تيار متغير، يقوم بتوليده مولدات كهربائية كبيرة تدور بمعدل (50) مرة في الثانية الواحدة، وبالتالي تولد (50) موجة جيبية في كل ثانية.

يتم توليد التيار المتناوب في محطات الطاقة الكهربائية بواسطة مولدات ثلاثة فاز متزامنة Generator Three-Phase Synchronous وتكون هذه المولدات في الحقيقة أكثر تعقيدا مما تم شرحه . إذ تستخدم عدد اكبر من الملفات. ويستبدل المغناطيس الدائم بمغناطيس كهربائي، كما يستخدم أكثر من قطبين في المولد، حسب سرعة المحرك الذي يديره، يرمز لمصدر أو مولد التيار المتناوب بدارة داخلها شكل موجة جيبية. ويخرج منها طرفان ، ولا تحدد له قطبية ، إذ أن قطبيته تتغير لحظيا.

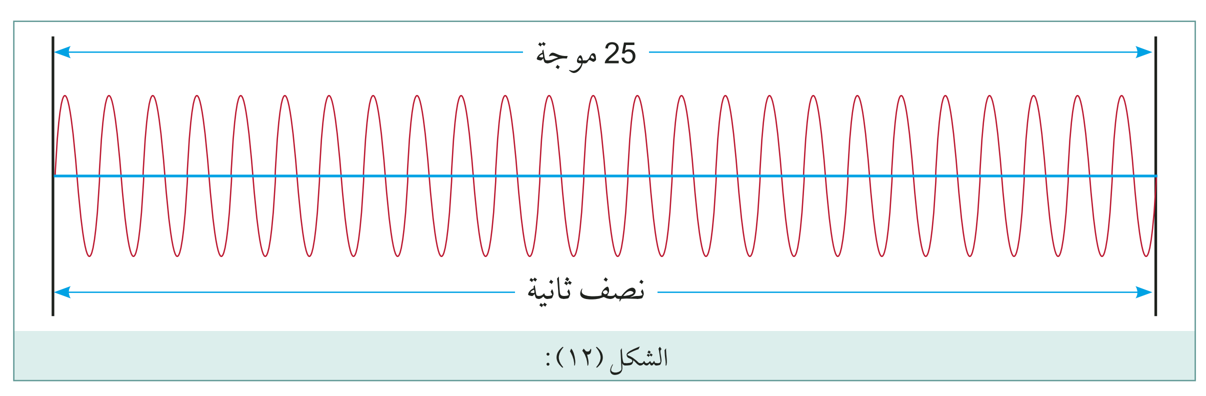
٢ التردد - Frequency

الموجة الكاملة للجهد أو التيار تشمل تغيراً كاملاً لقيمتها اللحظية، حيث تبدأ بالتزايد من الصفر إلى أن تبلغ الحد الأعلى الموجب ثم تتناقص إلى أن تعود إلى الصفر. بعد ذلك تبدأ بالتزايد في الاتجاه المعاكس حتى تبلغ حدها الأعلى السالب ثم تتناقص حتى تصل إلى الصفر مرة أخرى. ويتكرر هذا النمط بصورة منتظمة مع مرور الزمن . ويسمى عدد الموجات المتولدة في ثانية واحدة التردد (Frequency)، ويرمز للتردد بالحرف (f)ويقاس بوحدة تسمى هيرتز ويرمز لها بالحرف. (Hz)

الموجة الجيبية المبينة في الشكل (١٤) تكمل 25 دورة في نصف ثانية، أي 50 دورة في الثانية الواحدة وبالتالي فإن ترددها يساوي 50 هيرتز. تردد التيار المتناوب المستعمل في بلادنا ومعظم دول العالم يساوي 50 هيرتز، أما الولايات المتحدة فتستعمل تردد ٦٠ هيرتز. لم يكن اختيار مثل هذا التردد عشوائيا بل له أسبابه. إذ أن انخفاض التردد عن القيمة المحددة له يعد أمر غير مقبول. لان المصباح الفتيلي يعطي ضوءاً متقطعاً بصورة ملحوظة للعين عندما ينخفض التردد حتى 40 هيرتز. كما إن ارتفاع التردد يؤدي إلى ارتفاع مقاومة الأسلاك المستخدمة في نقل التيار المتناوب.

+
الموجة الجيبية
دورة واحدة كاملة
0
0 90 180 270 360
-

الشكل (١١): الموجة الجيبية



الشكل (١٢):

في مجال الراديو والتلفزيون والاتصالات تستخدم ترددات عالية جداً، لذا تستخدم مضاعفات الهيرتز الآتية :

كيلو هيرتز (KHz) = 1000 هيرتز

ميغا هيرتز (MHz) = 1000,000 هيرتز

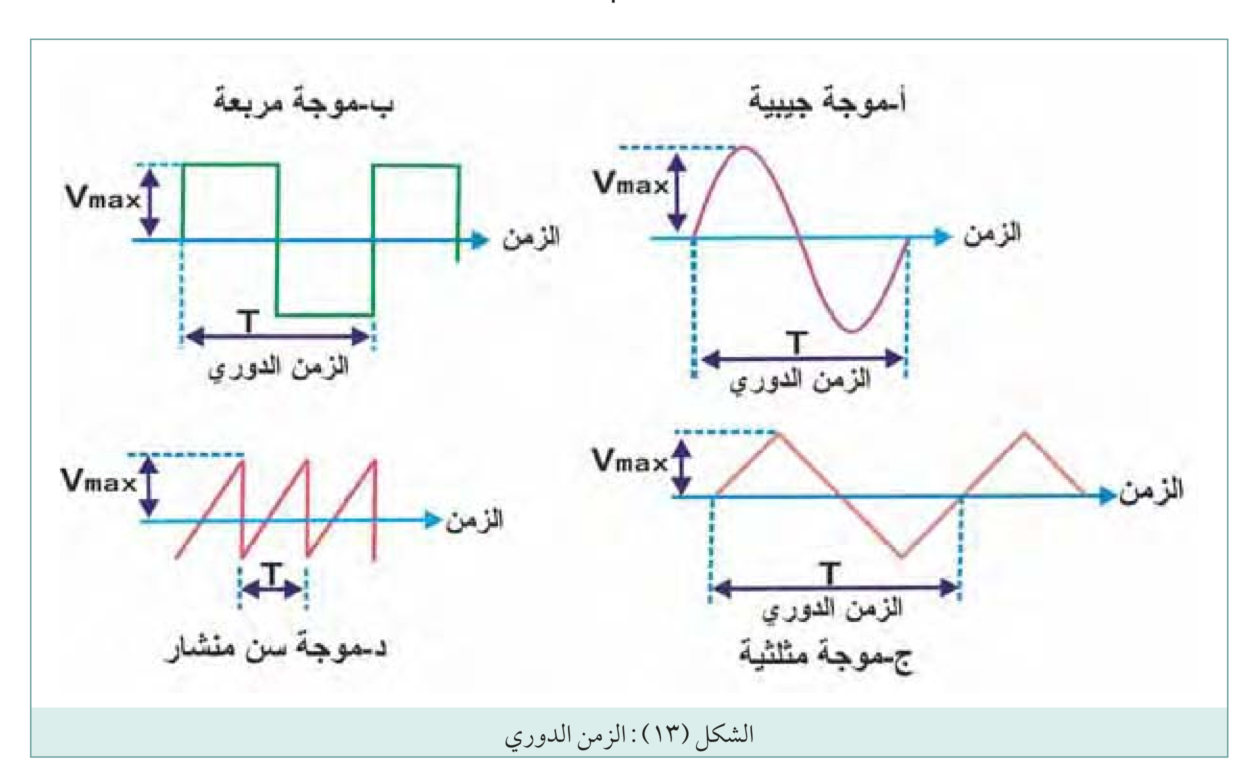
جيجا هيرتز (GHz) = (1000,000,000) هيرتز

يطلق على الفترة الزمنية التي تستغرقها الدورة الواحدة للتيار المتناوب اسم الزمن الدوري . ويرمز لها بالحرف T وتساوي مقلوب التردد(f) أي أن :

$$T=\frac{1}{f}$$

والشكل الأخر لهذه العلاقة :

$$f=\frac{1}{T}$$



الشكل (١٣) : الزمن الدوري

مـــثـــال

تردد التيار المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء يساوي ٥٠ هيرتز، احسب الزمن الدوري لموجة هذا التيار .

الحـــــل

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{50} = 0.02\ S$$

مـــثـــــال

موجة جيبية زمنها الدوري يساوي 16.6 ميلي ثانية " 0.0166 ثانية " احسب ترددها .

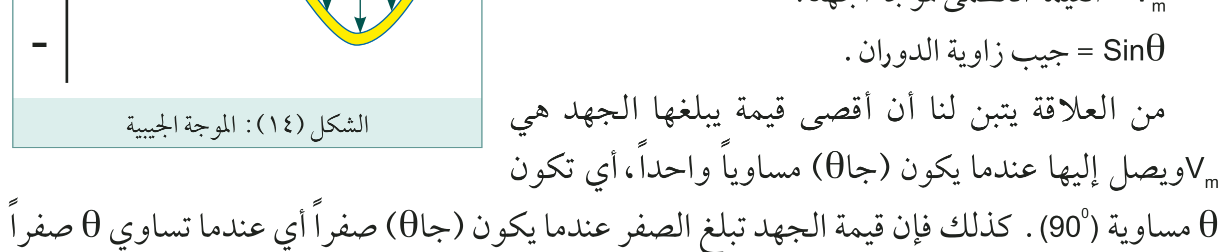
الحــــــل

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{0.0166} = 60\ HZ$$

٤ قياسات الموجة الجيبية للجهد أو التيار

الجهد الكهربائي الذي تزودنا به مولدات شركة الكهرباء، هو جهد متناوب جيبي، وقد سمي بهذا الاسم لان تغير الجهد بالنسبة للزمن يتبع من حيث الشكل منحنى جيب الزاوية لذا يمكن التعبير عن قيمة الفولتية عند أي لحظة بدلالة زاوية الدوران(θ) بالعلاقة الآتية : $V(\theta) = V_m \, Sin\theta$



الشكل (١٤) : الموجة الجيبية

حيث أن :

$V(\theta)$= القيمة اللحظية للجهد عند زاوية الدوران(θ) .

V_m= القيمة العظمى لموجة الجهد .

$Sin\theta$ = جيب زاوية الدوران .

من العلاقة يتبن لنا أن أقصى قيمة يبلغها الجهد هي V_mويصل إليها عندما يكون (جاθ) مساوياً واحداً، أي تكون θ مساوية (90^0) . كذلك فإن قيمة الجهد تبلغ الصفر عندما يكون (جاθ) صفراً أي عندما تساوي θ صفراً أو) (180^0) . أما القيمة العظمى السالبة للجهد فتكون عندما (جاθ) يساوي (-1) أي عندما تصل θ إلى(270^0)

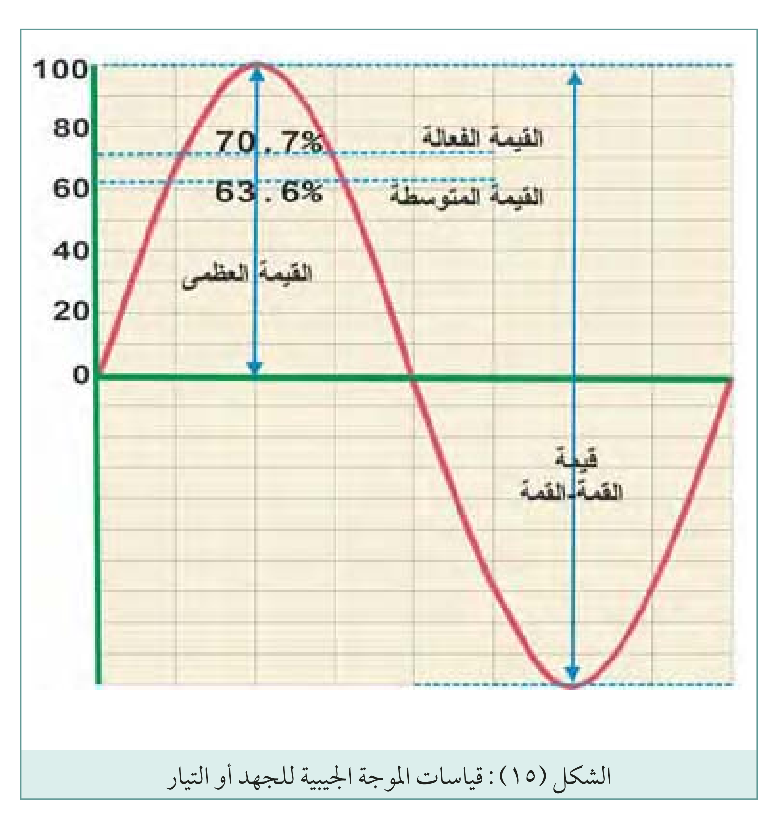
كذلك يمكن التعبير عن قيمة الجهد عند أي لحظة زمنية بدلالة سرعة دوران الزاوية (ω) والزمن (t) بالعلاقة الآتية : $V(t) = V_m \, Sin\omega t$

سرعة دوران الزاوية(ω) هي عدد الدورات الكاملة التي تكملها الموجة في الثانية الواحدة، وتعطى بالعلاقة :

$$\omega = 2\pi F$$

حيث F التردد بالهيرتز .

إن الموجة الجيبية المتناوبة للجهد أو التيار تتغير باستمرار في القيمة . ولكي نقارن موجة جيبية بأخرى ، فمن الضروري أن نعرف بعض القيم الخاصة وتوجد طرق مختلفة عديدة لتحديد اتساع Amplitude الموجة الجيبية . ويبين الشكل (١٥) الطرق الثلاثة الأكثر شيوعاً .



الشكل (١٥) : قياسات الموجة الجيبية للجهد أو التيار

١ القيمة العظمى (Maximum Value)

هي القيمة القصوى التي يبلغها الجهد أو التيار . ويرمز لها في حالة الجهد بالأحرف(Vm) ، وفي حالة التيار (Im) . وتسمى أيضًا القيمة الذروى (Peak Value) . يبين الشكل (١٥) أن القيمة العظمى لموجة جيبية تقاس من خط الصفر إلى القيمة الموجبة أو السالبة . القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء تبلغ (311 فولت) .

٢ القمة إلى القمة (Peak to Peak Value)

وهي تعبر عن اتساع الموجة الجيبية من القمة الموجبة إلى القمة السالبة . ويرمز لها في حالة الجهد بالأحرف (V_{P-P}) وفي حالة التيار (I_{P-P}) . وبما إن الموجة الجيبية المتناوبة متناظرة بالنسبة لخط الصفر ، فإن القيمة من القمة إلى القمة تساوي ضعف القيمة العظمى .

قيمة القمة إلى القمة =2 × القمة العظمى

٣ القيمة المتوسطة (Average Value)

لحساب هذه القيمة للموجات ذات الأنصاف المتماثلة نأخذ مجموعة من القيم اللحظية على امتداد نصف موجة فقط ، ونجمع هذه القيم ونقسمها على عدد العينات ، والسبب في عدم احتساب هذه القيم لنصفي الموجة هو أن المجموع الجبري للقيم اللحظية في هذه الحالة يساوي صفرا ، لان مجموع القيم الموجبة يساوي مجموع القيم السالبة . وتحتسب القيمة المتوسطة للموجة الجيبية بدلالة قيمتها العظمى بالعلاقة آلاتية : -

القيمة المتوسطة = 0.637 x القيمة العظمى

$$V_{(av)} = \frac{2}{\pi} \times V_m = 0.637 \times V_m$$

يرمز للقيمة المتوسطة الجهد بالأحرف (V_{av})، كما يرمز للقيمة المتوسطة للتيار بالأحرف (I_{av}).

٣ القيمة الفعالة (Effective Value)

لقد سميت القيمة الفعالة بهذا الاسم، لأنها تقابل القيمة نفسها من التيار أو الجهد المستمر في قدرة التسخين، أي أنها قيمة التيار أو الجهد المستمر الذي يولد في مقاومة قدرة حرارية تساوي القدرة الحرارية التي يولدها الجهد أو التيار المتناوب. وكمثال على ذلك نقول، أن القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي نحصل عليه من مأخذ التيار العام في المنزل تساوي (311) فولت، وهذا الجهد يعطي بالضبط المقدار نفسه من القدرة الحرارية التي يعطيها (220)فولت من الجهد المستمر (تحت نفس ظروف التجربة)، وبالتالي فإن القيمة الفعالة للجهد المتناوب في المنزل تساوي (220) فولت.

تعطى القيمة الفعالة للموجة الجيبية بالعلاقة الآتية:

$$\text{القيمة الفعالة} = \frac{\text{القيمة العظمى}}{\sqrt{2}} = 0.707 \times \text{القيمة العظمى}$$

يتعين العامل $\frac{1}{\sqrt{2}}$ أو 0.707 رياضياً باستخدام طريقة الجذر التربيعي لمتوسط مربع القيم اللحظية في موجة كاملة، لذا يطلق على القيمة الفعالة اسم قيمة جذر متوسط المربعات .(Root Mean Square Value :RMS)

غالبا ما يلزمنا تحويل القيمة الفعالة إلى القيمة العظمى، وعند ذلك يجب استخدام المعادلة:

$$\text{القيمة العظمى} = \sqrt{2} \times \text{القيمة الفعالة} = 1.414 \times \text{القيمة الفعالة}$$

مـــثـــــال

أن قيمة (220) الفولت متناوب التي نحصل عليها من مأخذ التيار العام في المنزل، ليست إلا قيمة الجهد الفعالة، احسب القيمة العظمى لهذا الجهد:

الحـــــل

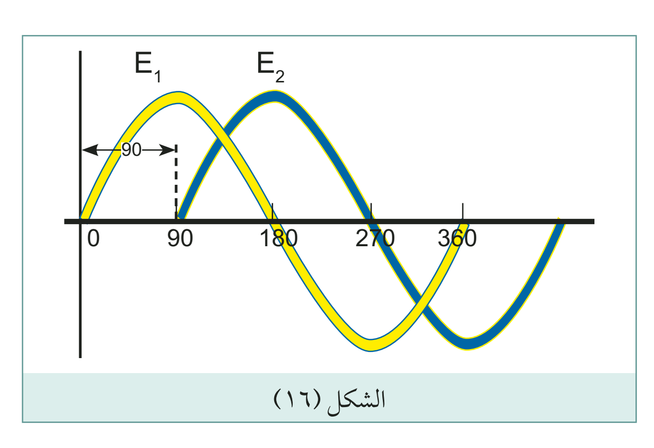
القيمة العظمى = 1.414x القيمة الفعالة

= 220 x 1.414

= 311 فولت

يرمز للقيمة الفعالة للجهد بالأحرف (V_{RMS})، أما القيمة الفعالة للتيار فيرمز لها بالأحرف (I_{RMS}). القيمة الأكثر استخداما في الحياة العملية، كما أن معظم أجهزة القياس للجهد والتيار تقيس هذه القيمة.

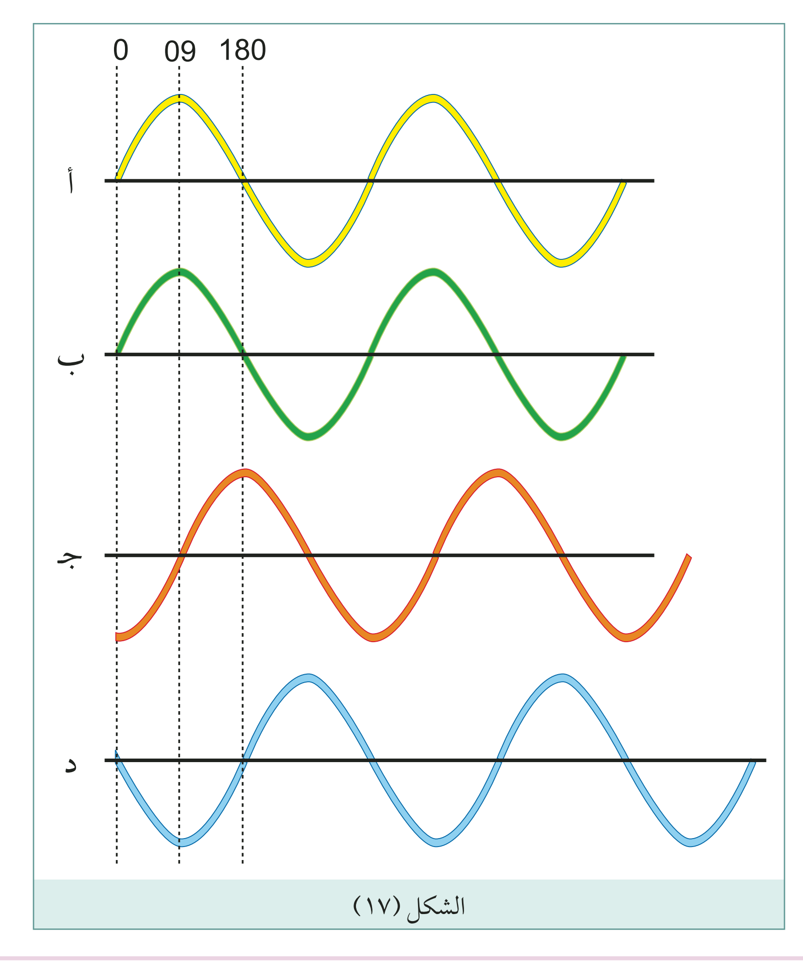
٥ زاوية الطور (Phase Angle)



الشكل (١٦)

أن القيم الثلاثة في الموجات الجيبية للجهد أو التيار المتناوب التي يمكن تغيرها هي : الاتساع والتردد والطور. فالطور هو عدد الدرجات الكهربائية التي تتقدم أو تتأخر بها موجة على موجة أخرى.

لتوضيح مفهوم الطور، لنفرض أن لدينا مولدين متماثلين تماما لتوليد الجهد المتناوب، كالمولد المبين في الشكل (١٦)، وأننا بدأنا بإدارة المولد (1) أولا، وبعد مرور فترة من الزمن بدأنا بإدارة المولد (2) وبنفس السرعة التي أدرنا بها المولد (1). لنفرض إن المولد (1) تحرك عبر زاوية مقدارها (90^o) عندما أدرنا المولد (2)، فسيكون هناك فرق في زاوية الدوران بين المولدين مقدارها (90^o) في أي لحظة زمنية. وبذلك يمكن إن نقول إن الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (1) تتقدم (Leads) على الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (٢) بزاوية مقدارها (90^o)، أو إن موجة المولد (2(E2 تتأخر(Lag_s) على موجة المولد أ(E1) بزاوية مقدارها (90^o) ونبين في الشكل(19) موجتي الجهد للمولدين وزاوية فرق الطور بينهما . لتوضيح مفهوم زاوية فرق الطور أكثر، نبين في الشكل (16) أربع موجات جيبية ذات اتساع وتردد واحد، بينما تختلف فيما بينها بالطور.



الشكل (١٧)

إذا استخدمنا الموجة (أ) كمرجع لنقارن معها الموجات الأخرى، فإن الموجة (ب) تكون متفقة معها تماما في الطور. أما الموجة (جـ) فإنها تقطع خط الصفر متأخرة عن الموجة بمقدار(90^o) ، وهكذا يقال أن الموجة (جـ) تتأخر عن الموجة(أ) بزاوية مقدارها (90^o) .

وأخيرا فإن الموجة (د) تقطع خط الصفر بعد الموجة (أ) بزاوية مقدارها (180^o). ولذا يقال أن الموجة (د) تتأخر عن الموجة (أ) بزاوية مقدارها(180^o) . كما يمكن القول أن الموجة (د) تتعاكس تماماً في الطور مع الموجة (أ) .

أسئلة

١ بالرجوع الى الموجة الجيبية المبينة في الشكل (١٥) احسب القيم التالية :

أ القيمة العظمى .

ب القيمة المتوسطة .

ج القيمة الفعالة .

د قيمة القمة إلى القمة

٢ موجة جهد جيبية قيمتها الفعالة تساوي (240) فولت ، احسب قيمتها العظمى ؟

٣ القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء تساوي (311) فولت ، احسب القيمة الفعالة لهذا الجهد ؟

٤ ردد التيار المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء يساوي (٥٠) هيرتز احسب الزمن الدوري لموجة هذا التيار .

٥ موجة ترددها (١٠٠) هيرتز ، احسب الزمن الدوري لهذه الموجة ؟

٦ موجة زمنها الدوري يساوي(٠,٢) ثانية ، احسب ترددهذه الموجة ؟

دارات التيار المتناوب

الممانعة السعوية والحثية:

مصدر الجهد المتردد، هو المصدر التقليدي للقدرة الكهربائية في حياتنا اليومية «في المنازل والمصانع»، فمعظم الأحمال الكهربائية مصممة للعمل على مصدر جهد متردد (AC)، وجه واحد او ثلاثة أوجه.

كثير من هذه الأحمال يعتمد في عمله على المغناطيسية وبعضها يعتمد على تخزين الشحنات وبالتحديد في مكثف تابع للحمل، إذا ليست جميع الأحمال الكهربائية لها طبيعة المقاومة بل بعضها له طبيعة الملف وبعضها الاخر له طبيعة المكثف.





الشكل (١): أحمال كهربائية مختلفة

إن معارضة سـريان التيار الكهربائي في دائرة تحتوي على ملف او مكثف او الاثنين معا تسـمى بالمفاعلة (Re-actance) ووحدتها الأوم. والمعارضة الكلية لسـريان التيار الكهربائي في دائرة التيار تحتوي على مقاومة تسـمى بالممانعه (Impedance) ووحدتها الاوم.

المفاعلة الحثية (Inductive Reactance):

يؤثر الملف على سريان التيار الكهربائي فقط عندما يتغير هذا التيار فينتج الملف قوة دافعة عكسية تعارض التغيير في التيار. في دوائر التيار المتغير يتغير التيار الكهربائي باستمرار وبشكل ثابت وبذلك يستمر الملف في انتاج قوة دافعة عكسية تعارض سريانه هذه المعارضة تسمى بالمفاعلة الحثية ويرمز لها بالرمز X_L.

تعتمد المفاعلة الحثية على:

١ قيمة الملف بالهنري.

٢ التردد وتعطى بالعلاقة التالية:

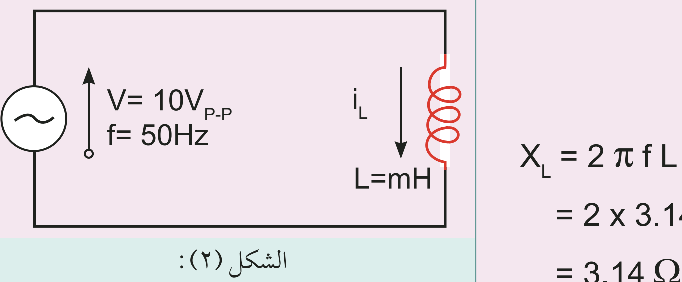
$$X_L = 2\pi f L$$

$X_L = 2 \times 3.14 \times$ التردد $\times$ قيمة الملف

فكلما زاد التردد زادت المفاعلة الحثية للملف .



ملف حثيته 10 mH وصل مع مصدر جهد مقدارة 10Vp-p وتردده 50Hz أحسب مقدار التيار الفعال المار فيه؟



الشكل (٢):

الحل

$$X_L = 2\,\pi\, f\, L$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$= 3.14\ \Omega$$

بعد معرفة قيمة المفاعلة الحثية يتم استخدام قانون أوم لإيجاد قيمة التيار المار في الملف .

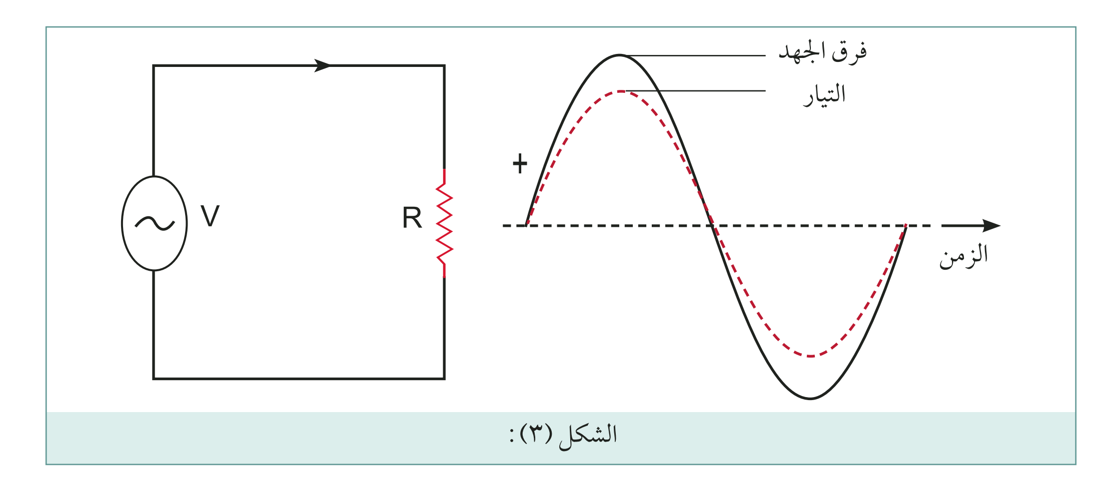
$$I = \frac{Vrms}{X_L}$$

$$V\ rms = \frac{V\ p\text{-}p}{2\sqrt{2}} = \frac{10}{2\sqrt{2}} = 3.536\ v$$

$$I = \frac{3.536}{3.14} = 1.13\ A$$

العلاقة بين الجهد والتيار في الدوائر الحثية:

لا يتغير التيار بنفس الوقت الذي يتغير فيه الجهد في الدائرة الحثية ولكن يتأخر وذلك حسب قيمة المحاثة . في دائرة تحتوي على مقاومة فقط يتغير التيار بنفس الوقت الذي يتغير فيه الجهد إذ يصل التيار لقيمته القصوى لحظة وصول جهد المصدر لقيمته القصوى . أي أن : $I_{max} = \frac{V_{max}}{R}$



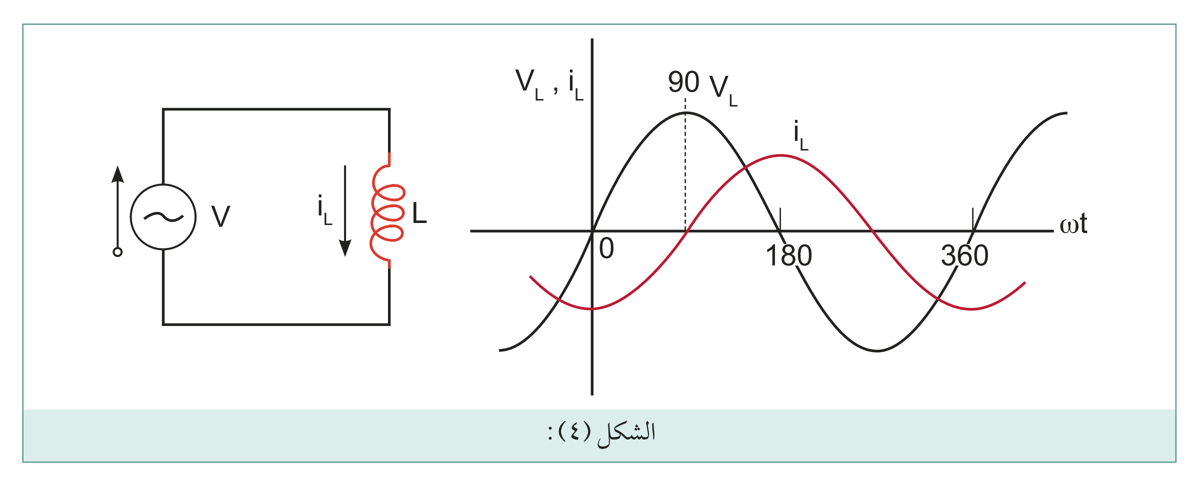
الشكل (٣):

حتى الآن قمنا بتمثيل الجهود والتيارات بمنحنياتها البيانية (موجه جيبيه) ولكننا نستطيع ان نمثلها بخطوط مستقيمة ونحسب القيمة الكلية تماما كما تمثل القوى في الميكانيكا . هذه الخطوط المستقيمة تسمى بالمتجهات .

يعرف المتجه بانه خط مستقيم يستخدم لتمثيل كميةاو قوة بحيث يمثل طول المتجه مقدار هذه الكمية و زاويته تمثل مقدار ازاحه هذه الموجه بالنسبة لخط مستقيم .

ويمكن تمثيل العلاقة بين الجهد والتيار بالمتجهات كما يلي : I V

في الدائرة الحثية والتي تحتوي على ملفات فقط يتأخر التيار عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠° درجة كما في الشكل (٤):

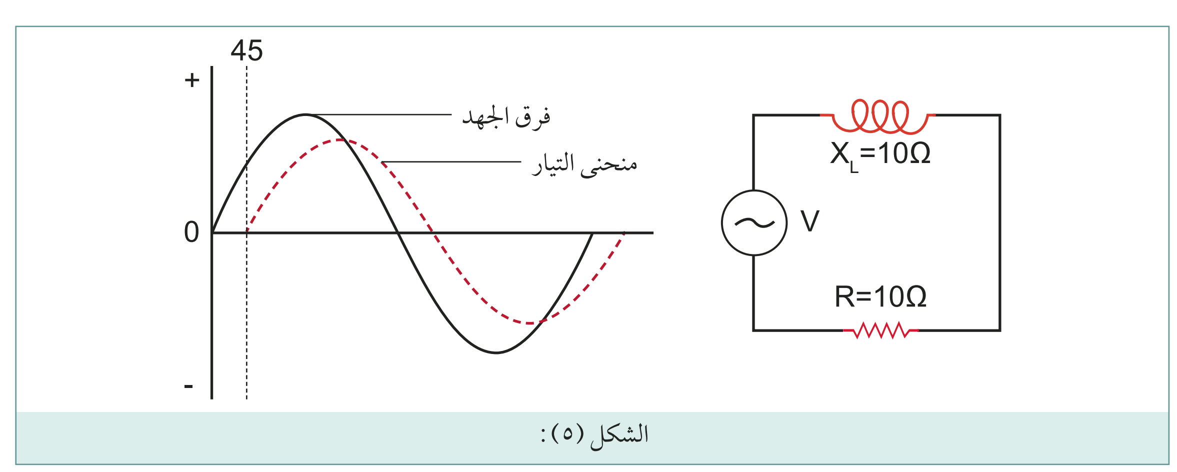


الشكل (٤):

ويمكن تمثيل العلاقة بين الجهد وتيار الملف بالمتجهات كما يلي : V 90 I

جميع الملفات تحتوي على مقاومات وبذلك يتأخر التيار عن الجهد بزاوية أكبر من صفر وأصغر من ٩٠° بحيث تقل هذه الزاوية كلما زادت المقاومة وتزيد هذه الزاوية كلما زادت المفاعلة الحثية بحيث تصل في حدها الأعلى الى ٩٠° عندما تكون قيمة المقاومة صفراً .

وتسمى هذه الزاوية بزاوية الازاحه (Phase Shift) .



الشكل (٥):

في الدائرة أعلاه تكون زاوية الإزاحة ٤٥° وذلك لتساوي المفاعلة الحثية مع المقاومة .

ولحساب الممانعة الكلية للدائرة الحثية (مقاومة وملف) يتم ذلك بالاعتماد على نظرية فيثاغورس وذلك لوجود ٩٠° بين المقاومة و المفاعلة الحثية .

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

بالاعتماد على القيم المعطاه في الدائرة السابقة أوجد قيمة التيار الفعال المار في الدائرة وزاوية الازاحه بين جهة المصدر والتيار .

١ يتم أولا إيجاد قيمة الممانعة الكلية للدائرة :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{200} = 14.1421\Omega$$

٢ يتم استخدام قانون أوم لإيجاد قيمة التيار الكلي :

$$V = Z \times I$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

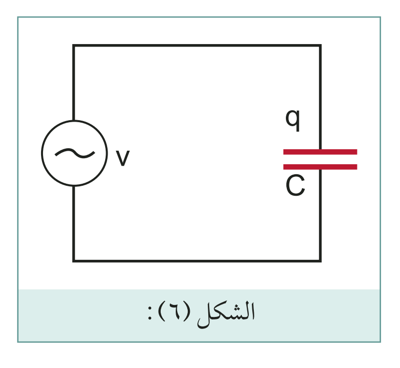
$$I = \frac{10}{14.1421} = 0.71 \text{ Amp}$$

٣ في الدائرة الحثية يتأخر التيار عن الجهد وتسمى الزاوية بينهما بزاوية الازاحه (Phase shift)

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_L}{R} = \tan^{-1}\frac{10}{10} = 45^\circ$$

المفاعلة السعوية:

الرسم التالي يبين مكثف موضوع على أطراف جهد متردد :



الشكل (٦):

الشحنة على أطراف المكثف تتناسب دائما مع قيمة جهد المصدر

$$q = Cv$$

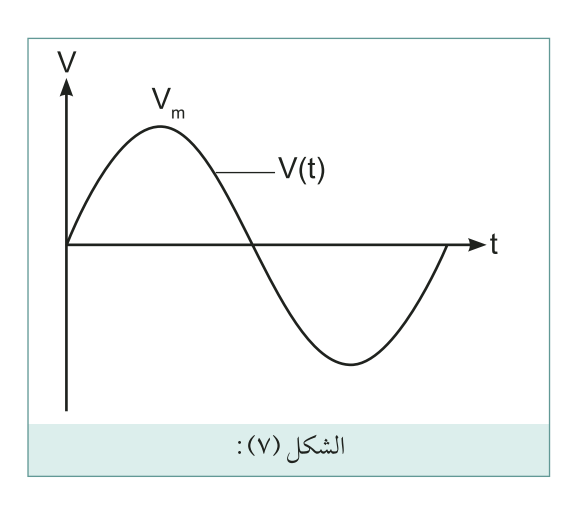
إذ تتغير قيمة شحنة المكثف مع التغير الدائم في جهد المصدر . حيث يمر تيار شحن في الدائرة للمكثف أثناء تزايد جهد المصدر ويمر تيار تفريغ في الدائرة للمكثف أثناء تناقص جهد المصدر .

بما أن جهد المصدر المتردد دائم التغير في القيمة والاتجاه وبما ان شحنة المكثف تتناسب مع جهد المصدر، يمر تيار متردد في الدائرة بسبب توالي عمليات الشحن والتفريغ وتواصلها.

$$q = Cv$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$i = \frac{cdv}{dt}$$



الشكل (٧):

تعلمنا سابقا بان التيار المتغير هو عبارة عن موجه جيبية حيث تتغير قيمة الجهد مع الزمن ويمكن تمثيل الجهد بدالة الجيب.

$$V(t) = V_m \sin \omega t$$

$$\frac{d\,v(t)}{dt} = V_m\, \omega \cos \omega t$$

$$i(t) = c\,\frac{d\,v(t)}{dt}$$

$$i(t) = c\,V_m\, \omega \cos \omega t$$

$$I_m = c\,\omega\, v_m$$

$$X_c = \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega c}$$

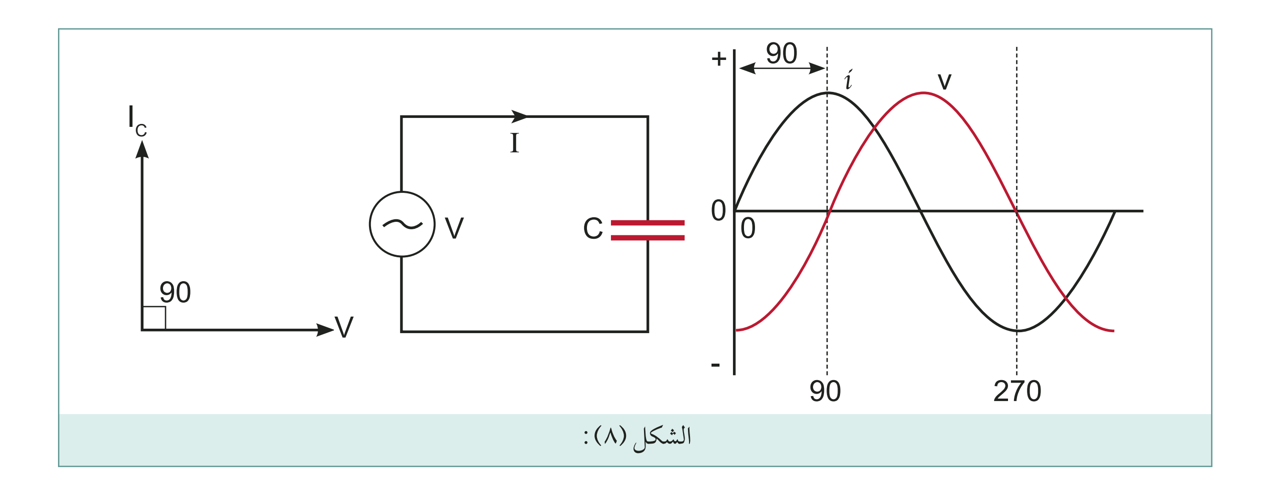
X_c هي عبارة عن المفاعلة السعوية للمكثف وتقاس بالاوم.

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi fc}$$

نلاحظ بأنه كلما زادت سعة المكثف قلت المفاعلة السعوية كذلك تعتمد المفاعلة السعوية على التردد فكلما زاد التردد قلت المفاعلة السعوية.

العلاقة المتجه بين الجهد والتيار في الدائرة السعوية:

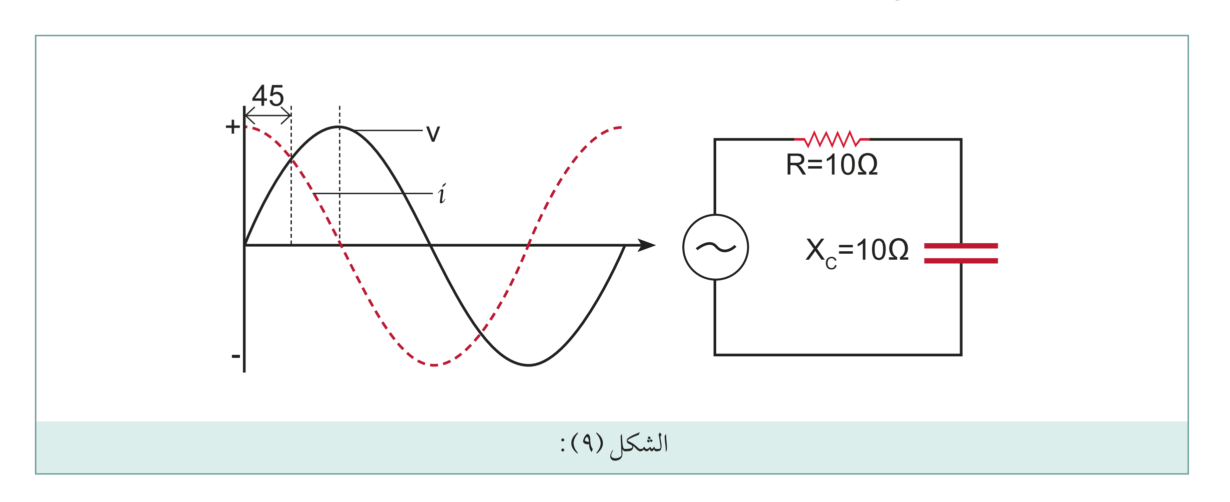
زاوية الإزاحة بين الجهد والتيار في الدائرة السعوية هي بعكس الدائرة الحثية تماما، حيث يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها ٩٠°.



الشكل (٨):

في الدوائر السعوية هناك قدر قليل من المقاومة (R) وبذلك يسبق التيار الجهد بزاوية تتراوح بين دائرة تحتوي على مقاومة فقط أي زاوية ازاحة تساوي صفرا ودائرة تحتوي على مكثف فقط بزاوية ازاحه مقدارها 90° .

عندما تتساوى المقاومة مع المفاعلة السعوية يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها 45° .



الشكل (٩):

ولحساب الممانعة الكلية يتم ذلك بالاعتماد على نظرية فيثاغورس لوجود زاوية مقدارها ٩٠° بين المقاومة والمفاعلة السعوية.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

R
θ
X_C
Z

مـــثـــال

في الدائرة السابقة، اذا كان جهد المصدر يساوي 10V :

١ أوجد قيمة التيار الكلي المار في الدائرة؟

٢ أوجد زاوية الإزاحة بين الجهد والتيار؟

الحـــــل

١ يتم حساب الممانعة الكلية للدائرة

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{200} = 14.142\ \Omega$$

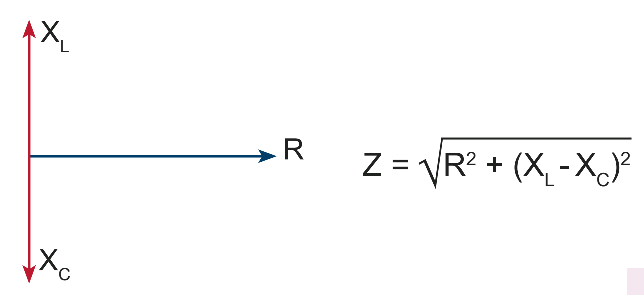
٢ بالاعتماد على قانون أوم :

$$V = Z\,I$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{14.142} = 0.71\ \text{Amp}$$

٣ بما أن الدائرة سعوية فان التيار يسبق الجهد بزاوية مقدارها

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_C}{R} = \tan^{-1}\frac{10}{10} = 45^{\circ}$$



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

القدرة في دوائر التيار المتغير:

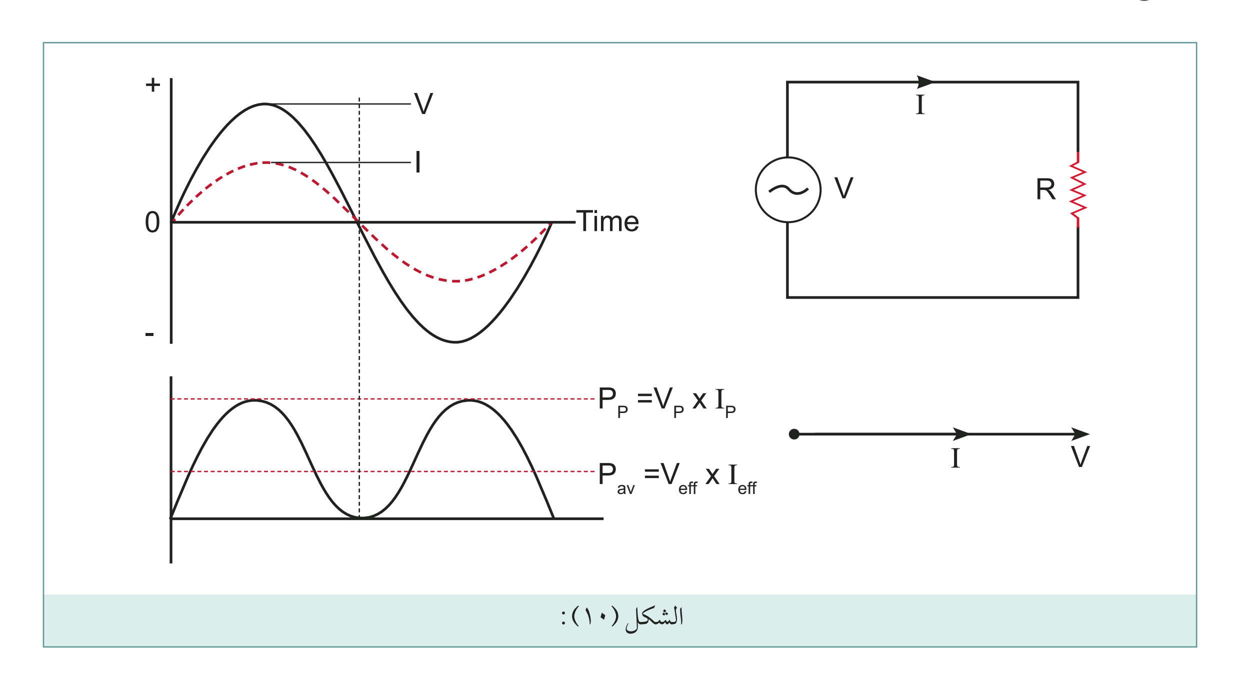
القدرة المستهلكه في مقاومة مادية تتحول الى شكل اخر من أشكال الطاقة مثل الحرارة، الضوء، . . . ولا ترجع للمصدر. تسمي بالقدرة الحقيقية (True/ Active power) ويرمز لها بالرمز (P) وهي عبارة عن معدل انتقال الطاقة من مصدر جهد متردد الى حمل. إن الطاقة المخزنة على شكل مجال مغناطيسي في ملف او مجال كهربائي على صفائح مكثف تعود للمصدر عندما يغير التيار اتجاهه وتسمى هذه الطاقة بالطاقة غير الفعاله أو الخيالية (Reactive/ Imaginary power) ويرمز لها بالرمز (Q).

أما القدرة الكلية فهي عبارة عن جمع متجه للقدرة الفعالة (P) وغير الفعاله (Q) وتسمى بالقدرة الظاهرية (Apparent power) ويرمز لها بالرمز (S).

القدرة الحقيقية:

وهي معدل انتقال الطاقة الكهربائية من مصدر جهد متردد الى حمل وتتحول هذه الطاقة الكهربائية الى وجه اخر للطاقة، حراري ضوئي، ميكانيكي. . . . وكمثال على ذلك السخان الكهربائي تتحول القدرة الكهربائية

تماما الى حرارة.



الشكل (١٠):

القدرة الحقيقية المستهلكة والمتحولة إلى حرارة في السخان تساوي المعدل الزمني للقدرة اللحظية، أي أن:

$$P = V I$$

V: الجهد الفعال للمصدر.

I: القيمة الفعالة للتيار المار في الحمل.

ووحدة قياسها الواط (Watt) وتقاس كذلك بوحدة الحصان الميكانيكي.

مــــثــــال

أوجد القدرة الحقيقية المستهلكة في سخان يعمل على 220 v ويمرر تيار مقدارة 10A؟

الحــــل

$P = V I$

$= 220 \times 10$

$= 2200$ watt

القدرة غير الفعالة (الخيالية):

بعض العناصر الكهربائية لها خاصية التخزين اي تخزين الطاقة كالمكثف والملف وعند توصيلها مع مصدر جهد متردد، تنتقل الطاقة الكهربائية بين المصدر والحمل في حركة ذهاب واياب دون تحويلها لوجه اخر من الطاقة. يمر تيار بين المصدر والحمل ويكون هناك جهد كهربائي ولكن القدرة لا تستهلك فعلا. فيعتبر العنصر

حملا وهميا، ويعتبر حاصل ضرب القيمة الفاعلة للجهد بالقيمة الفاعلة للتيار في هذه الحالة قدرة خيالية اي ليست حقيقية . ويرمز لها بالرمز (Q) .

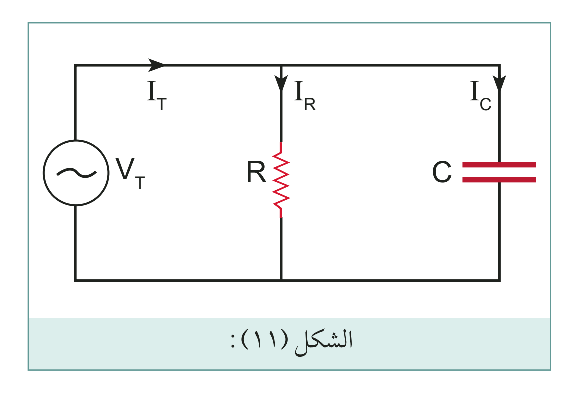
ووحدة قياسها الفولت أمبير غير الفعال (VAR) .

$$Q = V \times I$$

V : الجهد الفعال للمصدر

I : القيمة الفاعلة للتيار المار في الملف أو المكثف

القدرة الظاهرية:



الشكل (١١):

في الحالة العامة لا يمكن التاكد بان القدرة الحقيقية التي يستهلكها او يحولها هذا الحمل تساوي حاصل ضرب جهد المصدر بتيار الحمل . فقد يحتوي هذا الحمل على مكثف او ملف او الاثنين معا، أي وسيلة اختزان طاقة لذلك يسمى حاصل الضرب $S = V_T\,I_T$ في الحالة العامة بالقدرة الظاهرية ووحدة قياسها هي الفولت أمبير .

من الواضح أيضا ان القدرة الحقيقية المنتقله من المصدر الى الحمل المركب يساوي $P = V \times I_R$

وتكون المقاومة هي العنصر المستهلك للقدرة في الدائرة، بينما يكتفي المكثف باخذ كميه طاقة من المصدر ثم ارجاعها بشكل متكرر . بالمقارنة القدرة الظاهرية في الدائرة تساوي $S = V_T\,I_T$ وهذا الرقم لا يمثل القدرة المنتقله حقيقة على أرض الواقع لان التيار I_T المار في المصدر اكبر من التيار المار في المقاومة I_R وذلك لان التيار I_T يتضمن بالاضافة لتيار المقاومة تيار الشحن والتفريغ التكراري للمكثف .

الرسم التالي يبين العلاقة الاتجاهية بين جهد المصدر، تيار المقاومة وتيار المكثف والتيار الكلي المار في الدائرة .

الشكل (١٢):

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{X_C}{R}$$

بالاعتماد على نظرية فيثاغورس، من الواضح أن :

$$I_R = I_T \cos\theta$$

$$I_C = I_T \sin\theta$$

وبالتعويض نجد أن :

١ القدرة الحقيقية:

$$P = V_T\,I_R$$

$$= V_T\,I_T \cos\theta$$

٢ القدرة الخيالية:

$$Q = V_T\, I_C$$
$$= V_T\, I_T \,\text{Sin}\, \theta$$

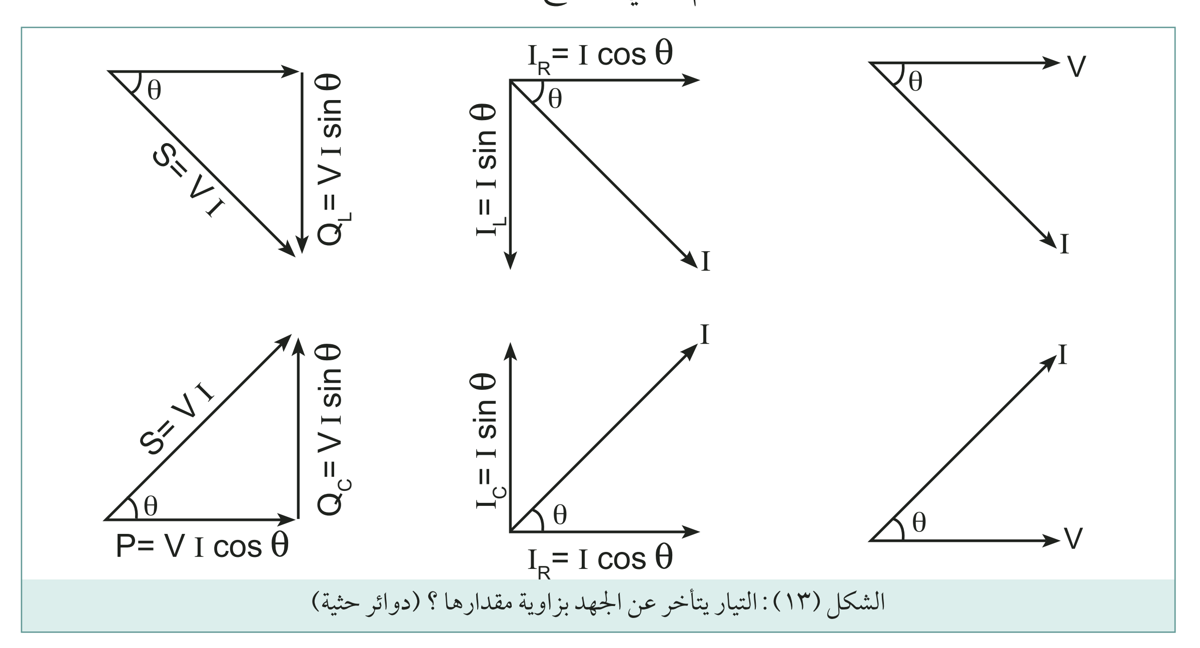
٣ القدرة الظاهرية:

$$S = V_T\, I_T$$

الزاوية θ هي الزاوية بين جهد المصدر والتيار الكلي للدائرة ويسمى جيب تمام هذه الزاوية بمعامل القدرة $(PF=\text{Cos}\,\theta)$ وتعتمد قيمة هذه الزاوية وبالتالي معامل القدرة على مكونات الدائرة الكهربائية ففي حالة المقاومة المادية حيث θ = صفرا، فان جتا θ =1 وتكون القدرة الفعالة $P = V\,I$.

وفي حالة الملف حيث θ = – 90درجة، جتا θ = صفرا، وتكون القدرة الفعاله صفرا وفي حالة المكثف θ = 90 درجة جتا θ = صفراً، وتكون القدرة الفعاله صفراً.

وتتراوح قيمة معامل القدرة في الدوائر المركبة بين الصفر والواحد صحيح ويقال له متقدما اذا كانت الدائرة سعوية ومتاخرا اذا كانت الدائرة حثية . والرسم التالي يوضح ذلك .



الشكل (١٣) : التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها ؟ (دوائر حثية)

نلاحظ أن العلاقة الاتجاهية أعلاه بان القدرة غير الفعاله في المكثف تعاكس القدرة غير الفعاله في الملف . من ذلك نستنتج بانه يمكن وبسهولة التخلص من القدرة غير الفعاله للملف في الدائرة باضافة مكثف لها وهذا ما يسمى بتحسين معامل القدرة والاقتراب به من الواحد صحيح .

توصيل مقاومة، ملف، ومكثف على التوالي Series R-L-C circuit:

دوائر التيار المتغير تحتوي في الغالب على مقاومة، ملف، ومكثف في الدائرة الحثية التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها ٩٠° وفي الدوائر السعويج يسبق التيار الجهد بزاوية مقدارها °90، وعليه فان الزاوية بين المفاعلة

الحثية والمفاعلة السعويه هي 180° وبذلك فان اي من المفاعلتين ستلغي الاخرى او اجزاء منها :

الشكل (١٤):

في دوائر التاير المتغير:

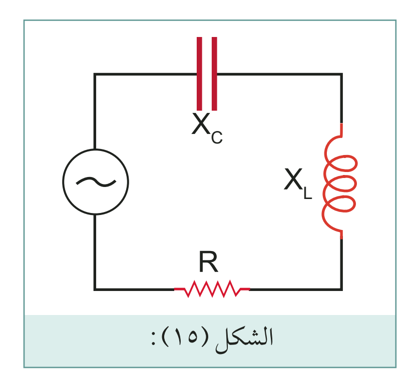
١ دائرة مقاومة اذا كانت $X_L = X_C$

٢ دائرة حثية اذا كانت $X_L > X_C$

٣ دائرة سعوية اذا كانت $X_C > X_L$

ممانعة الدارة الكهربائية في المحصلة النهائية للممانعة التي تبديها عناصر تلك الدارة لمرور التيار الكهربائي بها ويرمز لها بالرمز (Z) وتقاس بوحدة الأوم، وبالاعتماد على نظرية فيثاغورس فانه يمكن ايجاد الممانعه الكليه حسب المعادلة :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



الشكل (١٥):

وتعطي قيمة التيار حسب قانون أوم

$$V = Z\,I$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

حيث V, I هي القيم الفعال للجهد والتيار .



مـــثـــال

أوجد الممانعة الكلية وقيمة التيارالمار في الدائرة؟

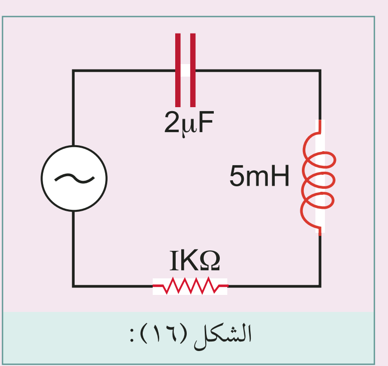
الحـــــل

لايجاد الممانعه الكلية يتم اولا ايجاد المفاعلتين الحثية والسعوية :

$$X_L = 2\,\pi\,FL$$

$$= 2 \times \pi \times 50 \times 5 \times 10^{-3}$$

$$= 1.571\ \Omega$$



الشكل (١٦):

$$XC = \frac{1}{2 \Pi FC}$$

$$= \frac{1}{2 \times \Pi \times 50 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$= 1591.55\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{(1000)^2 + (1.571 - 1591.55)^2}$$

$$= \sqrt{(1000)^2 + (-1589.98)^2}$$

$$= \sqrt{1000000 + 2528033.22}$$

$$Z = \sqrt{3528033.22} = 1878.31\ \Omega$$

X_L=1.571

90°

R = 1000Ω

90°

X_C=1591.55

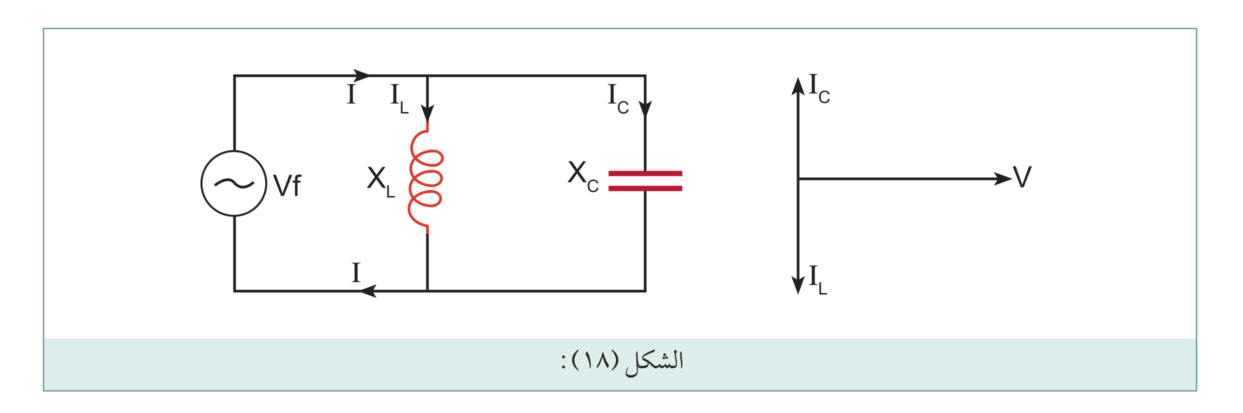
الشكل (١٧):

الدائرة سعوية التيار يسبق الجهد وذلك لان $X_C > X_L$
باستخدام قانون أوم يتم إيجاد قيمة التيار الفعال المار في الدائرة

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{1878.31} = 0.117\ A$$

الرنين (Electrical resonance)

ظاهرة الرنين بين ملف ومكثف موصولين على التوازي تعني في الواقع عملة انتقال الطاقة ذهابا وإيابا بينهما.

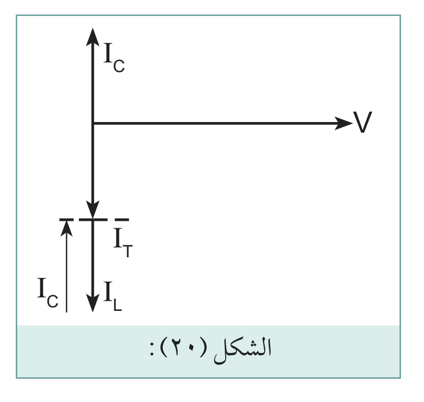


الشكل (١٨):

تميل هذه الدائرة للتصرف كمكثف إذا كان تيار المكثف فيها اكبر من تيار الملف

الشكل (١٩):

وتميل للتصرف كملف عندما يكون تيار الملف فيها اكبر من تيار المكثف.



الشكل (٢٠):

وتميل للتصرف (في الحالة المثالية) كمقاومة لانهائية عندما يتساوى تيارا الملف والمكثف بحيث لا يمر تيار في المصدر نهائيا (دائرة مفتوحة) وتسمى هذه الحالة بالرنين (Resonance)، حالة الرنين إذا هي حالة تساوي تيار المكثف وتيار الملف وهذا يعني بالتالي تساوي ممانعة الملف وممانعة المكثف ومنها يمكن إيجاد قيمة تردد الرنين.

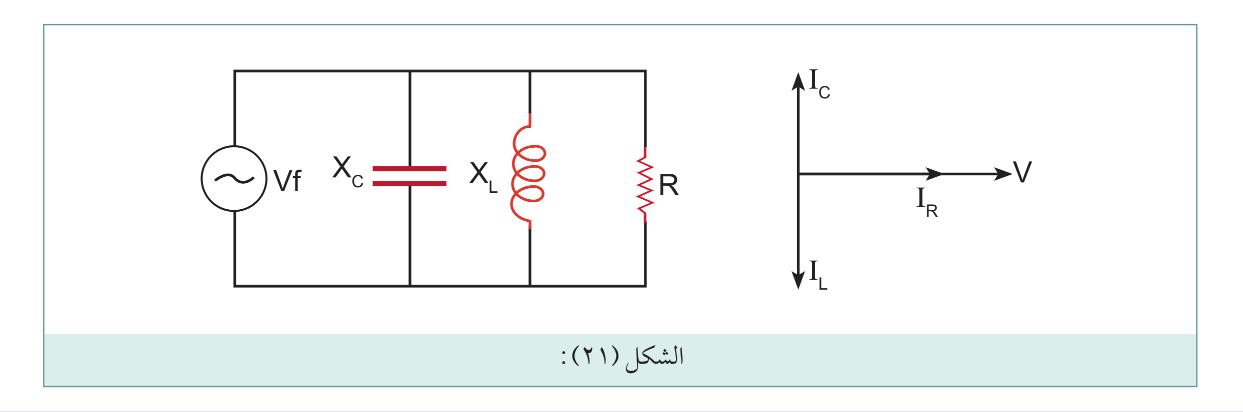
$$X_L = 2\pi f L \quad , \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = X_C \quad , \quad 2\pi f L = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$4\pi^2 f^2 L C = 1$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

عند توصيل مقاومة على التوازي مع الملف والمكثف كما في الشكل تحدث حالة الرنين هنا عند تساوي تيار الملف وتيار المكثف ونظرا لاتجاهاتهما المضادة لبعضهما البعض تكون الدائرة مكافئة فقط للمقاومة فيها (في حال الرنين) $Z_T = R$.



الشكل (٢١):

$$I_T = \sqrt{I_R^{2} + (I_L - I_C)^2}$$

وبالاعتماد على نظرية فيثاغورس :

$$I_R = \frac{V}{R} \; , \; I_L = \frac{V}{X_L} \; , \; I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$I_T^{2} = I_R^{2} + (I_L - I_C)^2$$

$$I_T^{2} = \frac{V^2}{R^2} + (\frac{V}{X_L} - \frac{1}{X_C})^2$$

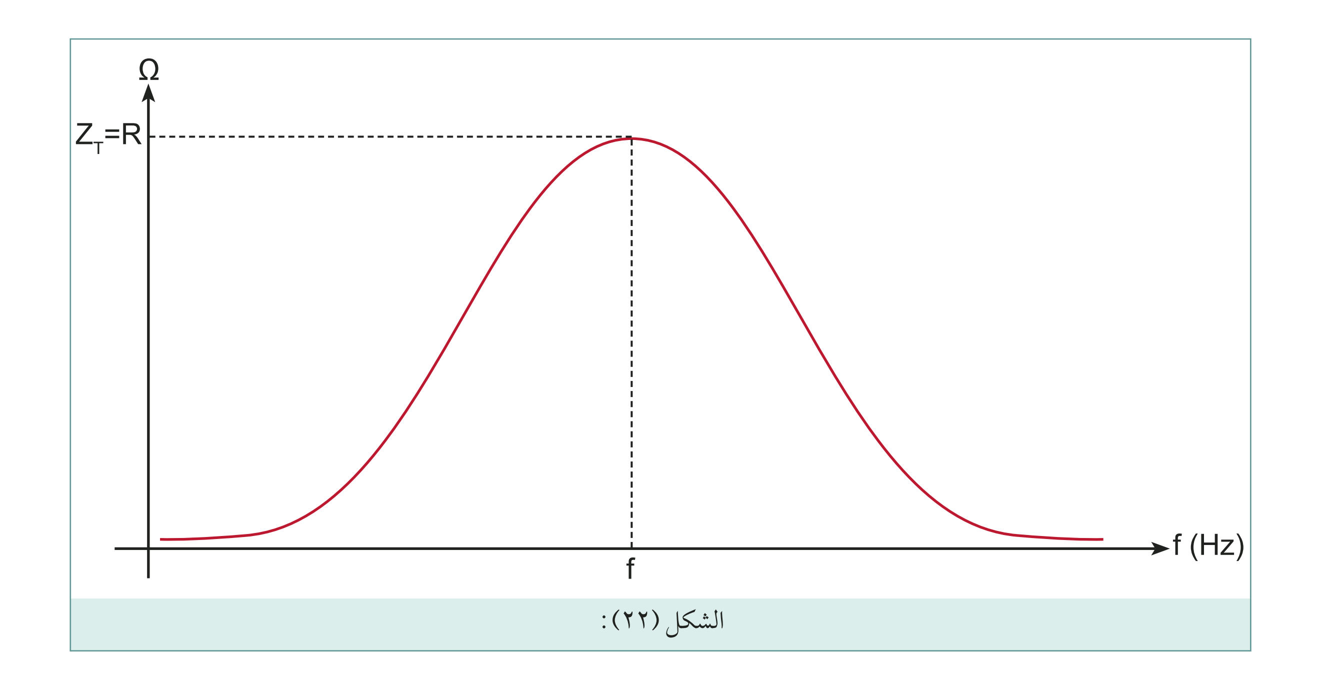
$$I_T^{2} = V^2 (\frac{1}{R^2} + (\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C})^2)$$

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{1}{\frac{1}{R^2} + (\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C})^2}$$

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C})^2}}$$

$$Z_T = \frac{1}{\frac{1}{R^2} + (\frac{1}{2\pi FL} - 2\pi FC)^2}$$

عند رصد تغيير الممانعة بالنسبة لتردد المصدر نجدها كما هو مبين بالرسم التالي :



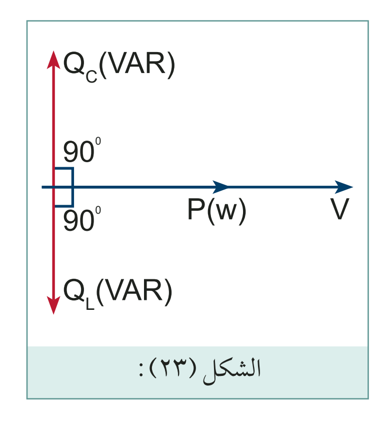
الشكل (٢٢):

نلاحظ بان الممانعة دائما محددة وتصل لأقصى قيمة لها وهي R عند تردد الرنين

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ومن الأمثلة على دوائر الرنين دائرة تحسين معامل القدرة حيث يكون الرنين عند معامل قدرة يساوي واحد صحيح وتكون الممانعة الكلية مساوية فقط للمقاومة الحقيقية في الدائرة. ويمر أقل تيار ممكن عبر المصدر.

تحسين معامل القدرة



الشكل (٢٣):

بداية لابد من تذكر الملاحظات التالية:

١ القدرة غير الفعالة للمكثف تعاكس القدرة غير الفعالة للملف وبذلك فان أي من القدرتين ستلغي الأخرى أو أجزاء منها.

٢ بالاعتماد على قانون اوم V = IR فانه يمكن كتابة معادلات القدرة على النحو التالي:

$$P = I^2 R, \qquad P = \frac{V^2}{R}\ (\text{Watt})$$

$$Q = I^2 X, \qquad Q = \frac{V^2}{X}\ (\text{VAR})$$

$$S = I^2 Z, \qquad S = \frac{V^2}{Z}\ (\text{VA})$$

٣ معظم الأحمال الكهربائية أحمال حثية وخصوصا المحركات ويمكن تمثيلها بمقاومة وملف

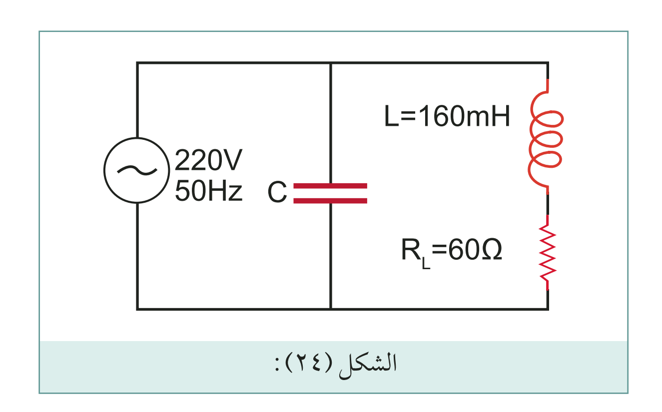
حمل =

٤ تتراوح قيمة معامل القدرة بين 0.1 وذلك حسب قيمة جيب تمام الزاوية بين الجهد الكلي والتيار الكلي للدائرة الحثية فكلما اقترب معامل القدرة من 1 صحيح قلت قيمة القدرة الضائعة في الملف، بمعنى

معامل القدرة يساوي 60% يعطي قدرة ضائعة 40% من القدرة الكلية . ومعامل قدرة يساوي 85% يعطي قدرة ضائعة 15% من القدرة الكلية . أيهما أفضل؟

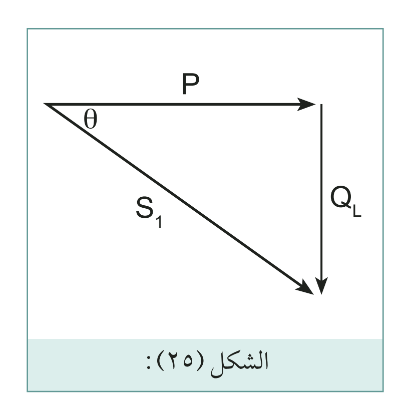
- من هنا تبرز الحاجة لتحسين معامل القدرة وذلك توفيرا للطاقة الكهربائية الضائعة في المصانع والورش إلى غير ذلك من الأحمال الحثية المستخدمة في حياتنا اليومية .
- إن تحسين معامل القدرة يتم عن طريق إضافة مكثف على التوازي مع الحمل الحثي ولكن ما هي سعة هذا المكثف الواجب إضافته للحمل؟

للإجابة على هذا السؤال سنستخدم المثال التالي :



الشكل (٢٤):

أوجد سعه المكثف الواجب إضافته للدائرة أعلاه لتحسين معامل القدرة ورفعه إلى 0.95؟



الشكل (٢٥):

$$Z_T = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

$$X_L = 2\pi FL = 2\pi \times 50 \times 160 \times 10^3 = 50.27\ \Omega$$

$$Z_T = \sqrt{(60)^2 + (50.27)^2} = 78.28\ \Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{Z_T} = \frac{220}{78.28} = 2.81\ \text{Amp}$$

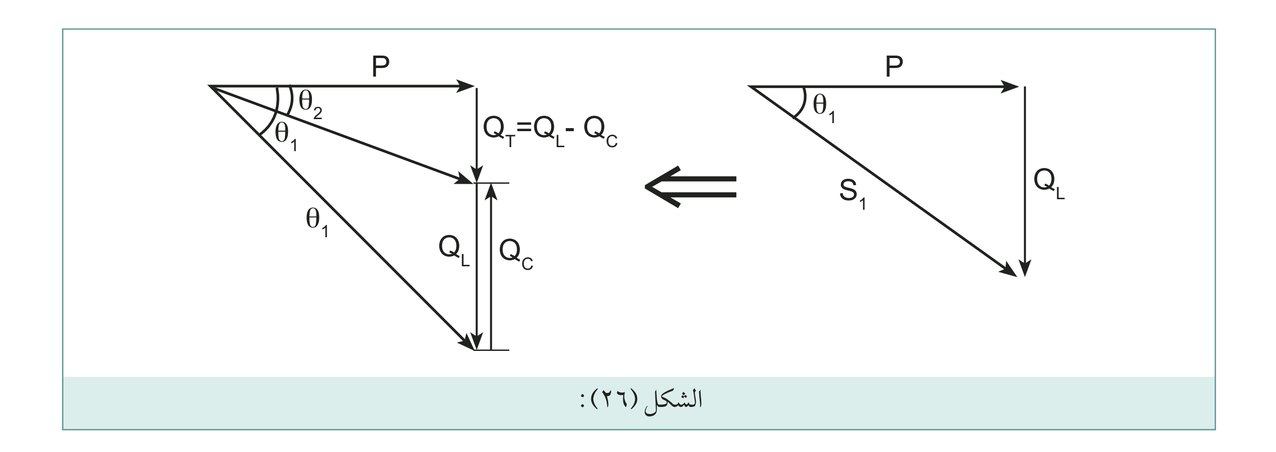
$$S_1 = V_T\, I_T = 220 \times 2.81 = 618.2\ (VA)$$

$$Q_L = I^2 X_L = (2.81)^2 \times 50.27 = 396.94\ (VAR)$$

$$P_1 = I^2 R = (2.81)^2 \times 60 = 473.77\ W$$

وفيها يتم إيجاد معامل القدرة للدارة قبل التحسين .

$$\text{Cos}\,\theta_1 = \frac{P}{S} = \frac{473.77}{618.2} = 0.77$$



الشكل (٢٦):

$$\cos\theta_2 = 0.95$$

بما أن القدرة الحقيقية لم تتغير بعد التحسين

$$P_2 = P_1 = 473.77 \text{ w}$$

$$\cos\theta_2 = \frac{P_2}{S_2}$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos\theta_2} = \frac{473.77}{0.95} = 498.71 \text{ (VA)}$$

$$Z^2 = \sqrt{P_2^{\,2} + Q_T^{\,2}}$$

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

$$498.71 = \sqrt{(473.77^2 + Q_T^{\,2}}$$

$$Q_T = \sqrt{(473.77)^2 + (473.77)^2} = 155.74 \text{ (VAR)}$$

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

$$155.74 = 396.94 - Q^C$$

$$Q^C = 396.94 - 155.74 = 241.2 \text{ (VAR)}$$

بما أن المكثف موصول على التوازي مع المصدر فان جهد المكثف يساوي جهد المصدر ويساوي 220 V

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} \quad , \quad X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

$$X_C = \frac{(220)^2}{241.2} = 200.66\ \Omega \quad , \quad X_C = \frac{1}{2\pi FC}$$

$$= \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 200.66} = 1.586 \times 10^{-5} \text{ F} = 15.86\ \mu\text{F}$$

المحولات الكهربائية

يعد المحول من الأجهزة الكهربائية ، التي بوساطتها تنقل القدرة الكهربائية المتغيرة (AC) من دارة إلى أخرى، عن طريق التأثير الكهرومغناطيسي المتبادل بين ملفين، مع إمكانية رفع أو خفض الجهد أو التيار في الدارة الثانية . وبما أن المحول لا يقدم أية زيادة في القدرة، يمكن العمل على رفع الجهد في الدارة الثانية على حساب انخفاض التيار في الدارة المتوافق معه، والعكس صحيح بالطبع .

يعتمد عمل المحول على مبدأ التأثير المتبادل للملفات المتجاورة . وتختلف المحولات من حيث كمية القدرة الكهربائية التي يمكن نقلها بوساطتها من دارة إلى أخرى، فتتراوح بين المحولات الضخمة المستخدمة في شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية التي تنقل قدرة تقاس بالميغا واط (MW)، والمحولات الصغيرة جداً المستخدمة في أجهزة الاتصالات التي تنقل قدرة صغيرة تقاس بالميلي واط (mW)، ويبين الشكل(١) بعض الإشكال الشائعة للمحولات .

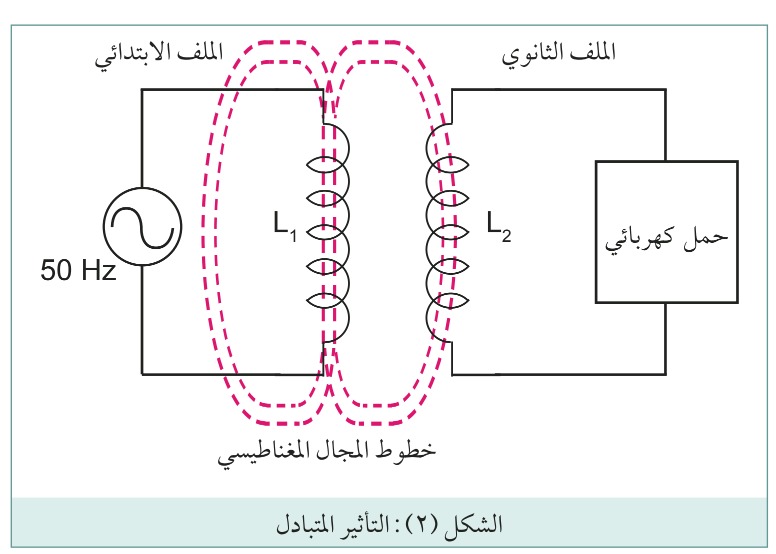


الشكل(١) : الإشكال الشائعة للمحولات

يتناول هذا الدرس التأثير المتبادل بين المحولات المستخدمة في الأجهزة الكهربائية والتي لها قدرة مقررة تتراوح ما بين ألواط الواحد إلى بضع مئات من ألواط .

١ التأثير المتبادل (Mutual Inductance)

عندما يتغير المجال المغناطيسي في ملف، يتولد جهداً بالتأثير في ملف آخر مجاور له كما هو مبين في الشكل (٢)، وهذه الظاهرة تعرف باسم التأثير المتبادل. فإذا وصل الملف الابتدائي (L_1) بمصدر تيار متغير، يتولد حول هذا الملف مجال مغناطيسي متغير أيضاً، حيث ينمو ويتناقص بحسب تغيرات شدة التيار المار في الملف. ويقوم هذا المجال المتغير باختراق الملف الثانوي (L_2) ويولد فيه جهداً بالتأثير يستفاد منه في تشغيل حمل كهربائي.



الشكل (٢): التأثير المتبادل

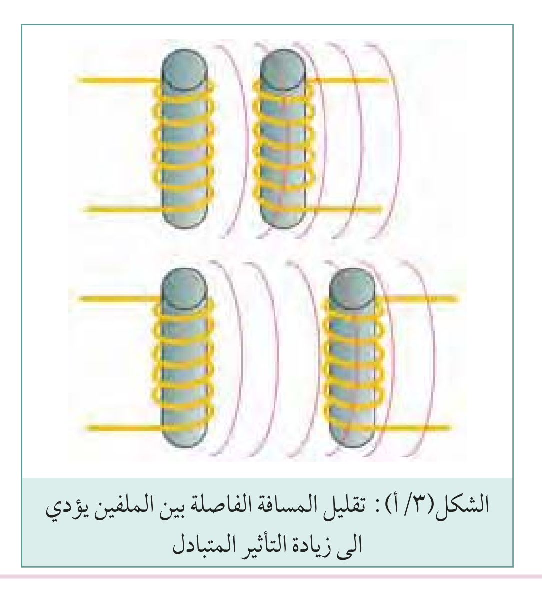
وبذلك يمكن القول إن الطاقة الكهربائية انتقلت من دارة الملف الابتدائي (L_1) إلى دارة الملف الثانوي (L_2) دون اتصال كهربائي مباشر بينهم، حيث استعيض عن ذلك باتصال مغناطيسي.

ويقاس مقدار التأثير المتبادل بين ملفين بنفس الوحدات الخاصة بالتأثير الذاتي أي الهنري ، فيكون التأثير المتبادل بين الملفين (L_1) و (L_2)المبين في الشكل (٢) هنري واحداً، إذا تولد جهد قدره 1 فولت بين طرفي الملف الثانوي (L_2) نتيجة لتغير قيمة التيار يعادل أمبير واحد في الثانية في الملف الابتدائي (L_1).

ويمكن زيادة التأثير المتبادل بين ملفين بالطرق الآتية:

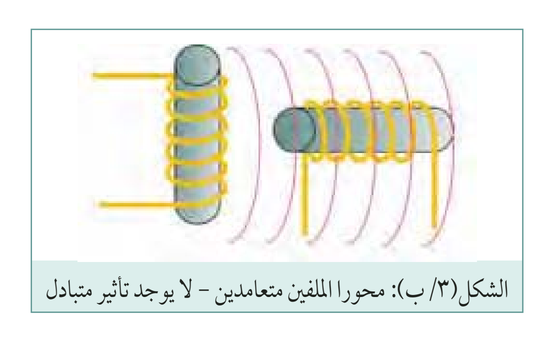
١ تقليل المسافة الفاصلة بينهما.

٢ **وضع الملفين بحيث يكون محوراهما متوازيين:** حيث ينعدم التأثير المتبادل في الوضع الذي يتعامد فيه محورا الملفين، ويستفاد من هذه الظاهرة عندما يراد حماية ملف من تأثير المجال المغناطيسي لملف آخر قريب منه. الشكل (٣/ أ، ٣/ ب).

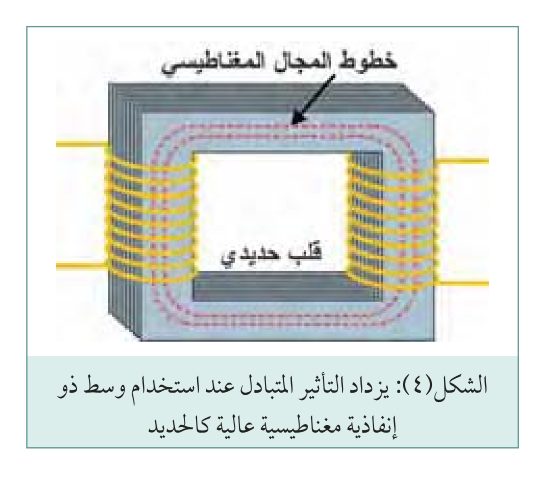


الشكل(٣/ أ): تقليل المسافة الفاصلة بين الملفين يؤدي الى زيادة التأثير المتبادل

٣ **زيادة عدد اللفات لكل منهما:** حيث يزداد الجهد المتولد نتيجة لتقاطع الملف مع مجال مغناطيسي معين.


الشكل(٣/ب): محورا الملفين متعامدين - لا يوجد تأثير متبادل

٤ **نوع الوسط الفاصل بين الملفين:** حيث يزداد التأثير المتبادل عند استخدام وسط ذي إنقاذية مغناطيسية عالية كالحديد. ويبين الشكل(٤) طريقة زيادة التأثير المتبادل بواسطة قلب حديدي يشكل مسارٍ متصل للمجال المغناطيسي الناتج من سريان التيار الكهربائي في الملف الابتدائي(L_1).



الشكل(٤): يزداد التأثير المتبادل عند استخدام وسط ذو إنفاذية مغناطيسية عالية كالحديد

معامل الربط (Coupling Coeffcient)

يشير معامل الربط الى مدى تأثر لفات أحد الملفين بالمجال المغناطيسي للملف الآخر ، فإذا فرضنا أن كل خطوط المجال المغناطيسي لأحد الملفين تتقاطع مع كل لفات الأخر فإنه يقال إن معامل الربط يساوي الواحد . أما في الحالة التي لا تتقاطع فيها جميع خطوط المجال المغناطيسي مع كل اللفات الخاصة بالملف الآخر وهي الحالة العامة يكون معامل الربط أقل من الواحد الصحيح، ويعطى التأثير المتبادل في هذه الحالة بالمعادلة:

$$M = K\sqrt{L_1L_2}$$

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$$

حيث:

M= التأثير المتبادل بين الملفين بالهنري.

L_1= التأثير الذاتي للملف الأول بالهنري.

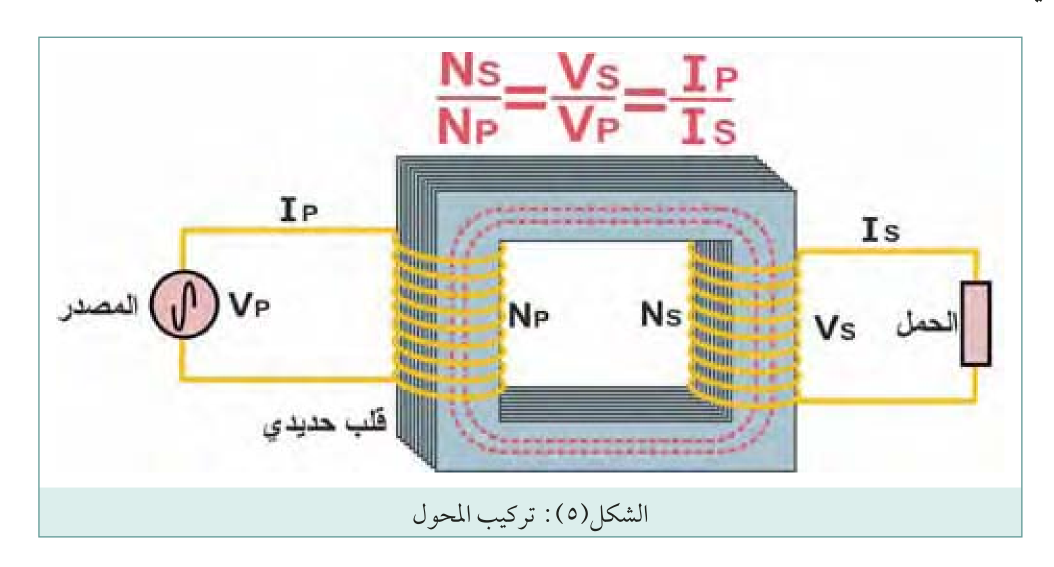
L_2= التأثير الذاتي للملف الثاني بالهنري.

K= معامل الربط المغناطيسي. وهو كسر عشري يقل عن الواحد الصحيح.

تتراوح قيمة معامل الربط 0.98 أو 0.99 في بعض محولات القدرة التي تستخدم قلب حديدي، الى ما يقل عن 0.05 أو 0.01 في بعض المحولات الراديوية التي تستخدم قلب هوائي.

٢ تركيب المحول

يتكون المحول الكهربائي من ملف ابتدائي(Primary Winding) يوصل بمصدر التيار المتغير(AC)، وملف ثانوي(Secondary Winding) يوصل بالحمل الكهربائي، كما هو مبين في الشكل (٥). ويتم لف الملفين على قلب حديدي(Iron Core) ليزيد من التأثير المتبادل بينهما. ويستخدم المحول في رفع أو خفض قيمة الجهد الكهربائي المتولد تبعاً للحاجة.



الشكل(٥): تركيب المحول

القلب الحديدي

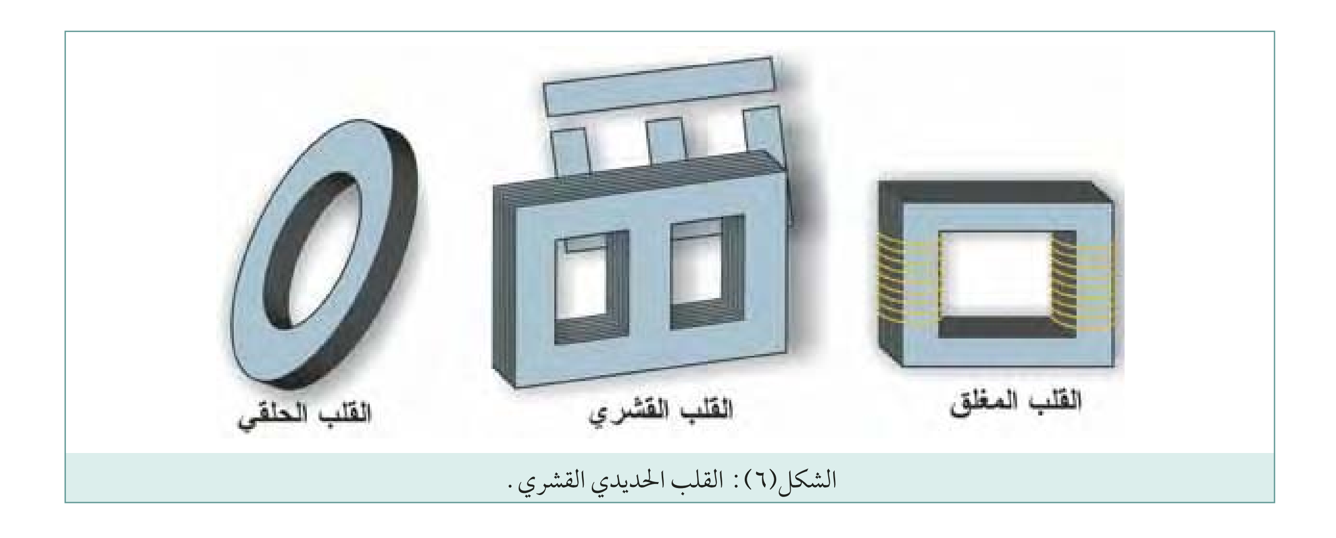
يتكون من رقائق الحديد تعزل بطلائها بالورنيش أو أي مادة عازلة أخرى، ويبلغ سمك كل منها 0,35 ملم تقريبا. تجمع هذه الرقائق معا بشكل قوي للحد من الفجوات الهوائية بينها، ولتشكل مساراً متصلاً للمجال المغناطيسي الناتج من سريان التيار الكهربائي في الملف الابتدائي للمحول. ويمكن تقسيم القلوب الحديدية إلى ثلاثة أنواع أساسية وهي:

أ القلب الحديدي المغلق (Closed Core)

عبارة عن حلقة مستطيلة الشكل تصنع من صفائح الحديد السليكوني، وتشكل مساراً مغلقاً للمجال المغناطيسي. لزيادة الربط المغناطيسي بين ملفي المحول، يقسم الملف الابتدائي إلى نصفين متساويين، يلف النصف الأول على الذراع الجانبي الأول، ويلف النصف الثاني على الذراع الجانبي الأخر، وكذلك الحال بالنسبة للملف الثانوي.

ب القلب الحديدي القشري (Shell Core)

يستخدم هذا النوع دارة مغناطيسية مزدوجة كما يتضح من الشكل(٦)، حيث تلف الملفات على الذراع الوسطية، ويكون القلب الحديدي محيطاً بهذه الملفات. ويتم ترتيب كلاً من الملفين الابتدائي والثانوي على شكل طبقات متعاقبة معزولة عن بعضها بشكل جيد. القلب القشري يزيد الربط المغناطيسي بين الملف الابتدائي والملف الثانوي مما يؤدي إلى زيادة كفاءة المحول.



الشكل(٦) : القلب الحديدي القشري .

ج القلب الحلقي:

يكون على شكل حلقة مستديرة تلف حولها ملفات المحول، بحيث تكون لفات الطرف الابتدائي إلى الداخل، ولفات الطرف الثانوي إلى الخارج ومحيطة بها ، كما يوضح الشكل (٦). يثبت المحول الحلقي (Toroidal Transformer) داخل الجهاز الكهربائي بواسطة قرص معدني ببرغي. ويبين الشكل (٧) صورة لمحول حلقي.


الشكل(٧) : المحول الحلقي .

٣ معادلة المحول

يعتمد عمل المحول على ظاهرة التأثير المتبادل بين ملفين متجاورين، فإذا وصل طرفي الملف الابتدائي بمصدر للفولتية المتناوبة(V_P) كما يظهر في الشكل(٥)، فان المجال المغناطيسي المتغير الناتج من مرور التيار المتغير بالملف الابتدائي سيقطع كلياً أو جزئياً الملف الثانوي، مما يتسبب في توليد فولتية متناوبة بين طرفي الملف الثانوي مقدارها (V_S)، تؤدي إلى سريان تيار كهربائي بالحمل الكهربائي الموصول بين طرفي الملف الثانوي .

والجدير بالذكر أن المحول الكهربائي لا يعمل على التيار المستمر، لأن التيار المستمر ثابت القيمة وبالتالي ينتج مجالاً مغناطيسياً ثابتاً أيضاً، ولكنه يفقد شرطاً أساسياً لتوليد التيار الكهربائي بالتأثير ألا وهو "الحركة النسبية" .

يستخدم المحول كأداة لرفع أو خفض مستوى الجهد المتناوب تبعاً للحاجة . فبتغيير النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي والملف الثانوي، يمكن تغيير مقدار الجهد المتولد بالتأثير في الملف الثانوي . وبهذه الصورة يمكن خفض أو رفع مقدار الجهد المتناوب باستخدام نسبة عدد لفات ملائمة . ويمكن تعريف نسبة عدد اللفات بأنها نسبة عدد لفات الملف الثانوي (N_S) إلى عدد لفات الملف الابتدائي(N_P)

$$\text{نسبة عدد اللفات} = \frac{N_S}{N_P}$$

ويمكن إثبات إن نسبة عدد اللفات تساوي نسبة الجهد، أي النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل :

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

حيث إن :

جهد (فولتية) الملف الابتدائي $= V_P$

جهد (فولتية) الملف الثانوي $= V_S$

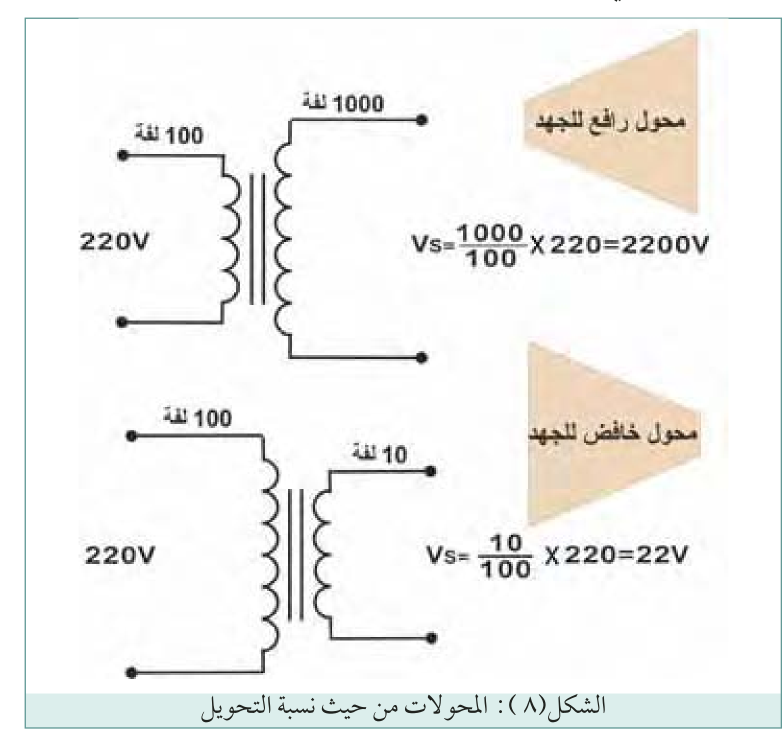
عدد لفات الملف الابتدائي $= N_P$

عدد لفات الملف الثانوي $= N_S$

عندما يكون عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي (نسبة اللفات أكبر من الواحد) فان المحول يقوم برفع الجهد بصورة متناسبة ونسبة عدد اللفات، ويعرف المحول بمحول رفع الجهد. مثلاً: المحول المبين في الشكل (٨) يتكون الملف الابتدائي من (100) لفة، بينما يتكون الملف الثانوي من (1000) لفة، فأن جهد الملف الثانوي سيكون عشرة أضعاف جهد الملف الابتدائي (10=1000\100).

مثلاً: اذا كان عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الابتدائي (نسبة اللفات اقل من واحد)، فأن المحول يقوم بخفض الجهد بصورة متناسبة ونسبة عدد اللفات، ويعرف المحول بمحول خفض الجهد.

مثلاً: المحول المبين في الشكل (٨)، يتكون الملف الابتدائي من (100)لفة، بينما يتكون الملف الثانوي من (10) لفات فقط ، فان جهد الملف الثانوي سيكون عُشر جهد الملف الابتدائي (0,1 =10 \100).



الشكل(٨): المحولات من حيث نسبة التحويل

في المحول المثالي، تكون القدرة في دارة الملف الابتدائي مساوية للقدرة في دارة الملف الثانوي، والمعادلة التي تربط بين قدرة الملف الابتدائي وقدرة الملف الثانوي في المحول المثالي هي :

$$P_P = P_S$$

وبما أن القدرة مساوية لحاصل ضرب الجهد بالتيار، فإذاً :

$$V_P \times I_P = V_S \times I_S$$

ومن هذه العلاقة، نجد أن:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

حيث أن:

I_P= تيار الملف الابتدائي

I_S= تيار الملف الثانوي

بربط المعادلات السابقة نحصل على المعادلة العامة للمحول:

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{V_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

الجدير بالذكر أن المحول الذي يرفع الجهد ينبغي أن يخفض التيار، بحيث تبقى قدرة الخرج مساوية لقدرة الدخل. لذا فأن نسبة التيار تكون معاكسة لنسبة الجهد أو لنسبة عدد اللفات.

مثال ١

محول خفض، عدد لفات الملف الابتدائي (400) لفة، عدد لفات الملف الثانوي (40) لفة، جهد الملف الابتدائي (220) فولت، احسب جهد الملف الثانوي.

الحل

$N_P = 400$ لفة

$N_S = 40$ لفة

$V_P = 220$ فولت

$V_S = ?$

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{V_P}$$

$$V_S = \frac{N_S}{N_P} \times V_P$$

$$V_S = \frac{40}{400} \times 220$$

$$V_S = 22V$$

مثال ٢

محول خفض 220\12 فولت، تيار الملف الثانوي 2 أمبير، احسب تيار الملف الابتدائي.

الحل

$V_P = 220$ فولت

$V_S = 12$ فولت

$I_S = 2$ أمبير

$I_P = ?$

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{I_S}{I_P}$$

$$I_P = I_S \times \frac{V_S}{V_P}$$

$$I_P = 2 \times \frac{12}{220}$$

$$I_P = 0.11A$$

٤ كفاءة المحول

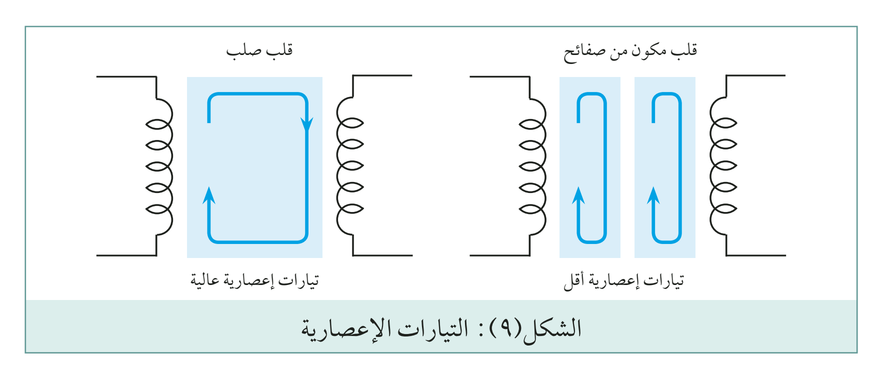
ذكرنا سابقاً أن القدرة في الملف الثانوي تساوي القدرة في الملف الابتدائي في المحول المثالي، وسبب ذلك هو إهمال الفقد في المحول الذي يتحول بسببه جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، ولهذا السبب، تكون القدرة على مخرج المحول اقل من القدرة الداخلة إليه، والنسبة بين القدرة الخارجة من المحول إلى القدرة الداخلة إليه تدعى الكفاءة، وتعطى الكفاءة بالعلاقة الآتية :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} \times 100\%$$

تعتبر المحولات من الآلات الكهربائية ذات الكفاءة العالية، حيث تتراوح كفاءتها من 95% إلى98% ، ويمكن تحديد الفقد في المحولات كما يأتي :

أ الفقد الحديدي

وهو الفقد الذي ينشأ في القلب الحديدي، ويشتمل على المفقود من التيارات الإعصارية وهي تيارات كهربائية تتولد بالتأثير في القلب الحديدي وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة قلب المحول، يمكن تخفيض التيارات الإعصارية بتشكيل قلب المحول من صفائح فولاذية رقيقة معزولة عن بعضها، مما يؤدي رفع مقاومة دارة الحديد لسريان التيار الإعصاري ، كما هو موضح في الشكل (٩).

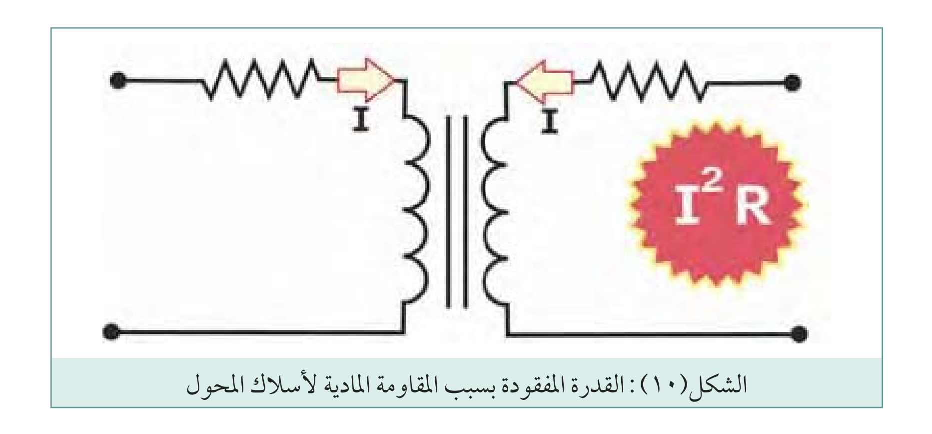


الشكل(٩) : التيارات الإعصارية

وتستخدم أيضا مواد تعرف بالفريتات(Ferrites) كقلوب مغناطيسية في كثير من محولات الفولتية عالية التردد . والفريتات هي مواد خزفية لها خواص مغناطيسية مشابهة للحديد، ولكنها تعتبر عوازل من الناحية الافتراضية . وبالتالي تصبح القدرة المفقودة في القلب المصنوع من الفرايت صغيرة حيث أن قيمة التيار الإعصاري منخفضة ، وهذا النوع من المادة هش وقابل للكسر بسهولة بالاستعمال غير الواعي .

ب الفقد النحاسي

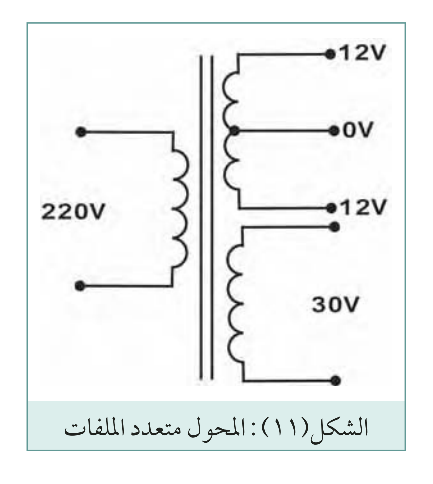
هو الفقد الذي ينشأ في الملفات النحاسية للمحول بسبب المقاومة المادية لأسلاك ملفات المحول الابتدائية والثانوية، وهذا الفقد يتناسب طردياً مع مربع شدة التيار، لاحظ الشكل(١٠).



الشكل(١٠): القدرة المفقودة بسبب المقاومة المادية لأسلاك المحول

٥ أنواع المحولات

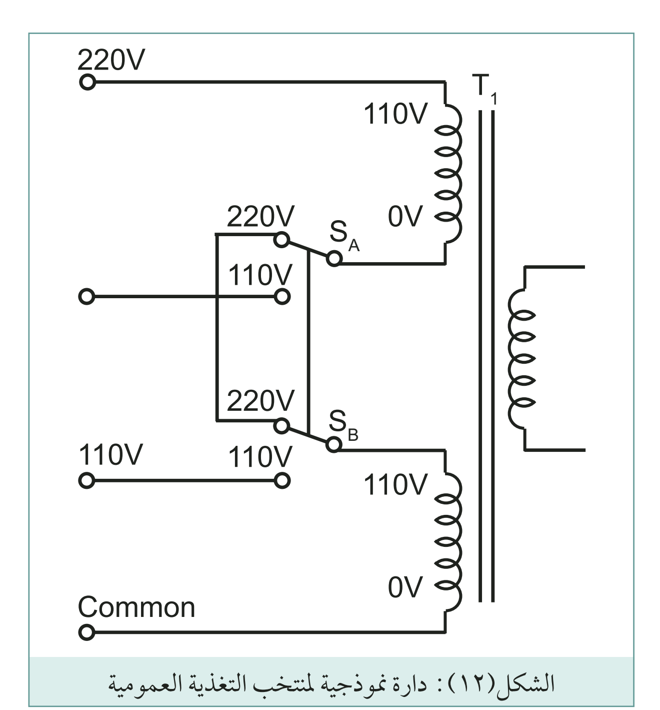
أ محول القدرة



الشكل(١١): المحول متعدد الملفات

يستخدم في مدخل وحدات التغذية في الأجهزة الإلكترونية، ويكون من النوع ذي القلب الحديدي، والهدف منه خفض الجهد العام/220V) (ACإلى قيمة مناسبة وذلك حسب حاجة الجهاز الإلكتروني. ويمكن استخدام أكثر من ملف ثانوي بحيث تخرج من الطرف الثانوي للمحول فولتيات مختلفة، لاحظ الشكل (١١).

بعض محولات القدرة متعددة الإغراض تزود بملفان ابتدائيان يسمحان بالاشتغال على تغذية (110 فولت) أو (220 فولت)، والشكل(١٢) يبين دارة نموذجية لمنتخب فولتية التغذية العمومية مبنية على أساس مفتاح ثنائي القطب ثنائي الرمية S_A. ويجب التنويه أن الاستخدام الخاطئ لمفتاح انتخاب فولتية التغذية العمومية يؤدي بالعادة إلى حرق الملف الابتدائي للمحول وحدة التغذية.



الشكل(١٢): دارة نموذجية لمنتخب التغذية العمومية

ب المحول الذاتي (Auto-Transformer)

يتكون المحول الذاتي من ملف واحد مشترك بين الجانبين الابتدائي والثانوي، مما يوفر كمية الأسلاك النحاسية المستعملة ويخفض حجمه ووزنه وكلفته.

ويوضح الشكل (١٣) تركيب المحول الذاتي الخافض، فيمثل الجزء (أ ب) الملف الابتدائي، والجزء (جـ ب) الملف الثانوي. يصمم المحول الذاتي بحيث يتحمل الجزء غير المشترك (أ جـ) تيار المصدر(I_P)، ويتحمل الجزء المشترك (جـ ب) الفرق بين تيار المصدر وتيار الحمل (I_P-I_S).

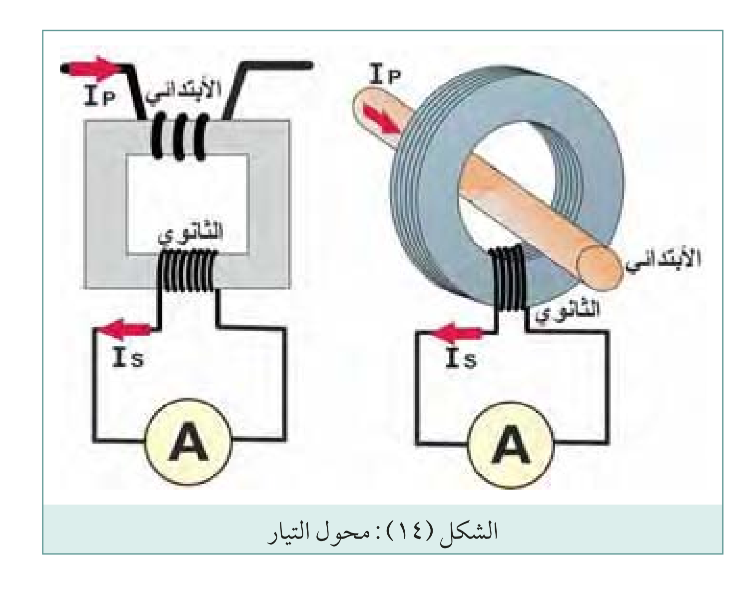
الشكل (١٣): المحول الذاتي

كما يوضح الشكل(١٣) تركيب المحول الذاتي الرافع. ويجب التذكير أن معادلة المحول العامة التي سبق شرحها تنطبق أيضاً على المحول الذاتي. يستخدم المحول الذاتي لرفع أو خفض الفولتية عندما تكون نسبة التحويل المطلوبة غير مرتفعة، وعندما يكون العزل الكهربائي بين الملفان الابتدائي والثانوي غير ضروري.

جـ محول التيار:

يستخدم محول التيار مع أجهزة قياس التيار المتناوب (الأومميتر) بهدف خفض قيمة التيار المتناوب المراد قياسه إلى قيمة مناسبة يسهل قياسها، كما يستخدم لعزل جهاز القياس عن أسلاك الفولتية العالية.

يتكون محول التيار كما في الشكل(١٤) من ملف ابتدائي، يكون عدد لفاته قليلاً، ومساحة مقطع سلكه كبيرة، ويوصل هذا الملف على التوالي بخط الحمل المراد قياس تياره. وأما الملف الثانوي، فيكون عدد لفاته كبيراً، ومساحة مقطع سلكه صغيرة، ويوصل بجهاز قياس التيار.



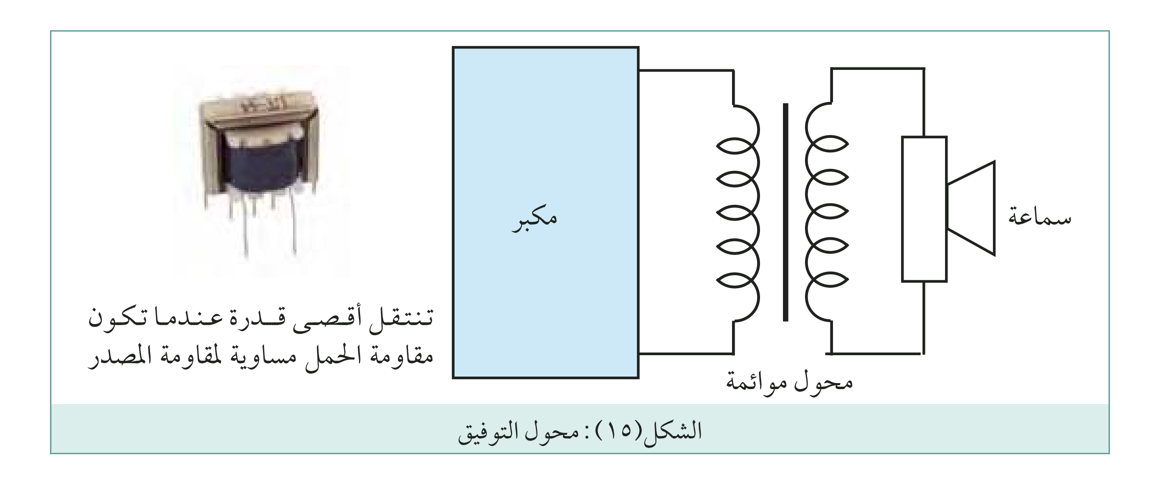
الشكل (١٤): محول التيار

د محول العزل (Isolation Transformer):

يستخدم هذا المحول في ورشات الصيانة لعزل بعض الأجهزة والمعدات عن الشبكة الكهربائية العمومية، لتفادي الصدمات الكهربائية في أثناء العمل، وتكون فولتية الملف الثانوي مساوية لفولتية الملف الابتدائي، أي نسبة تحويل الفولتية مساوية للوحدة.

هـ محول التوفيق (Matching Transformer):

يستعمل لربط دارتين كهر بائيتين معاً بحيث يعمل على التوفيق بين ممانعة (مقاومة) الخرج للدارة الأولى وممانعة الدخل للدارة الثانية لضمان نقل أقصى قدر من الطاقة . لنفرض، مثلاً، أنه يوجد لدينا مضخم صوت ممانعة خرجه تساوي 4300 أوم، ونريد وصله مع سماعة ممانعتها 8 أوم . عند ذلك يجب استخدام محول ذو نسبة لفات مناسبة لتوفيق هاتين الممانعتين .



الشكل(١٥) : محول التوفيق

وتعطى نسبة لفات المحول اللازمة لنقل أتقصى قدرة بالمعادلة التالية :

$$\frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}}$$

حيث :

ممانعة خرج الجهاز الموصول بالملف الابتدائي .

ممانعة دخل الجهاز الموصول بالملف الثانوي .

وبالنسبة للمثال الوارد في الشرح أعلاه يمكن حساب نسبة لفات المحول اللازمة لنقل أتقصى قدرة كما يلي :

$$\frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{4300}{8}}$$

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{23}{1}$$

و المحولات النبضية:

وهي محولات مصممة لتعمل على النبضات وعلى نطاق عريض من الترددات (1 إلى 100 كيلوهيرتز) . وتكون من النوع ذو قلب الفرايت .

٦ المواصفات الفنية للمحول

يمكن تعريف المواصفات الفنية للمحول بأنها تلك الخواص التي تميزه عن أي محول أخر، وتتعلق بعض هذه المواصفات بشكل المحول وتركيبه، ويمكن معرفتها بالنظر، كأن يكون المحول ذا قلب حديدي أو هوائي أو من الفرايت. أما المواصفات الأخرى فتعطى من قبل الشركة الصانعة، وتطبع على المحول نفسه، وأهم هذه المواصفات ما يأتي:

١ **فولتية الطرف الابتدائي**: وهي الفولتية التي يمكن توصيلها بالملف الابتدائي دون أن يحدث أي ضرر لذلك الملف كتلف العازل أو الحرق.

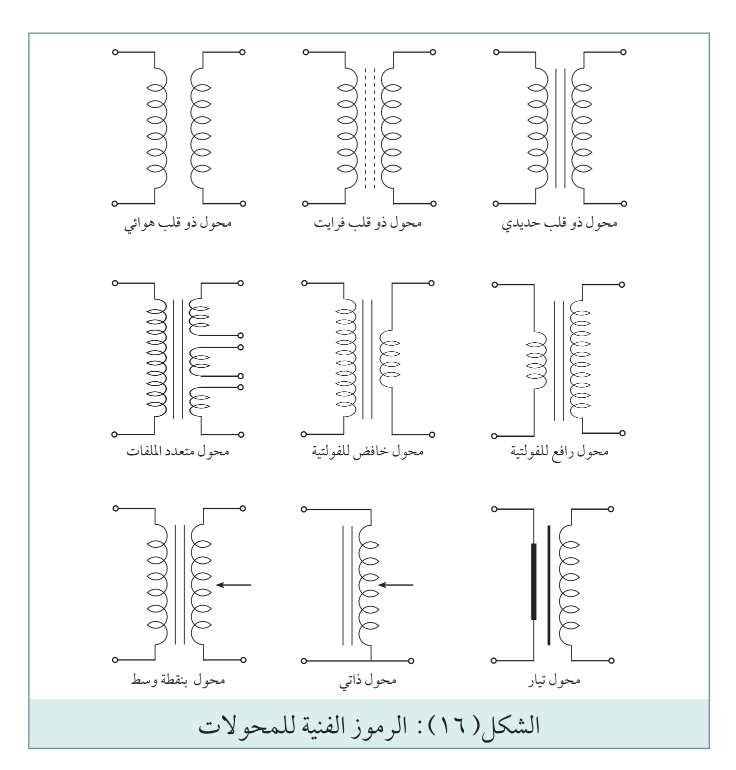
٢ **فولتية الطرف الثانوي**: وهي الفولتية أو الفولتيات التي تظهر على الطرف أو الأطراف الثانوية للمحول عند تغذية الملف الابتدائي بالفولتية المقررة.

٣ **التيار الثانوي الأقصى**: وهو أقصى تيار يمكن أن يسحبه الحمل من الملف الثانوي دون إتلافه.

٤ **قدرة المحول**: تعطى القدرة المقررة لمحولات القدرة بوحدة الفولت أمبير (VA) وليس بالواط، وهذه الطريقة تحدد أقصى قيمة لتيار الذي يمكن سحبه من المحول بغض النظر عن معامل قدرة الحمل. مثلاً، المحول المقنن VA50، وقيمة الجهد الثانوي 10 فولت يمكن أن يعطي تيار قيمته القصوى 5 أمبير عند أي معامل قدرة (I=50/10=5A).

٧ الرموز الفنية للمحولات

يختلف الرمز الفني للمحول حسب نوعه، ويبين الشكل (١٦) الرموز الفنية لمختلف أنواع المحولات.



الشكل(١٦): الرموز الفنية للمحولات

٨ أعطال المحولات

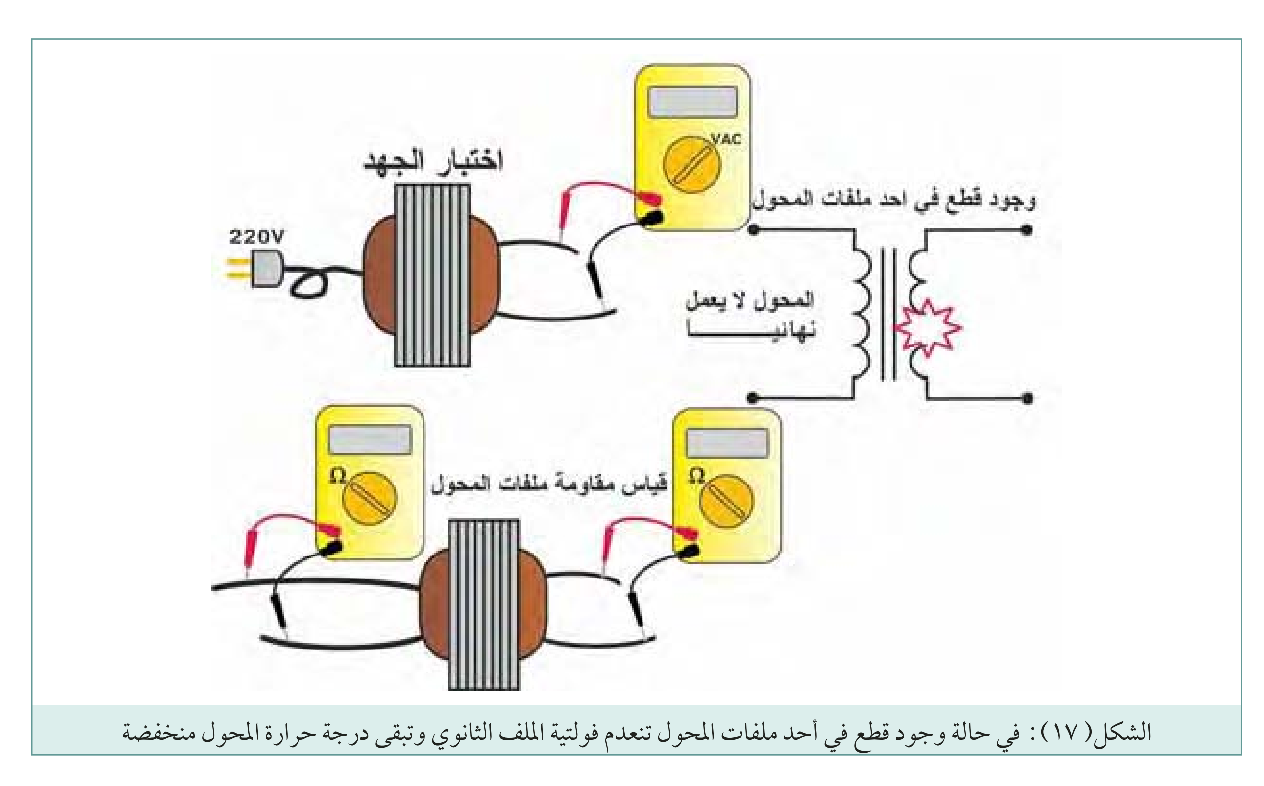
تعتبر المحولات من المكونات الأساسية لشبكات والأجهزة الكهربائية، ويجب أن يكون فني الصيانة قادراً على فحصها وتحديد أعطالها بكفاءة. يمكن تقسيم أعطال المحولات إلى فئتين وهما:

أ الأعطال الكلية:

هي الأعطال التي لا يعمل فيها المحول نهائياً رغم تزويد ملفه الابتدائي بفولتية التغذية المقررة، والأسباب المتوقعة هي:

١ حرق الملف الابتدائي نتيجة ارتفاع فولتية المصدر عن تلك المقررة للمحول.

٢ حرق الملف الثانوي نتيجة سحب الحمل تيار أعلى من المقرر، بسبب وجود قِصر (شورت) في الحمل، أو وصل حمل أكبر من الحمل المقرر للمحول.



الشكل(١٧): في حالة وجود قطع في أحد ملفات المحول تنعدم فولتية الملف الثانوي وتبقى درجة حرارة المحول منخفضة

ويمكن فحص المحول في هذه الحالة بأتباع الخطوات التالية:

١ هيئ جهاز القياس (Multimeter) لقياس الفولتية المتناوبة (AC).

٢ أفصل الحمل عن المحول.

٣ صل المحول بمصدر التغذية.

٤ أفحص الفولتية بين طرفي الملف الابتدائي (فولتية المصدر).

٥ أفحص الفولتية بين طرفي الملف الثانوي.

فإذا كانت فولتية الملف الثانوي مساوية الصفر فهذا يدل على وجود قطع في أحد ملفي المحول، ويمكن إيجاد الملف التالف بقياس مقاومة الملفات حسب الخطوات التالية :

١ هيئ جهاز القياس لقياس المقاومة (المدى 1000 أوم).

٢ أفصل المحول عن مصدر التغذية.

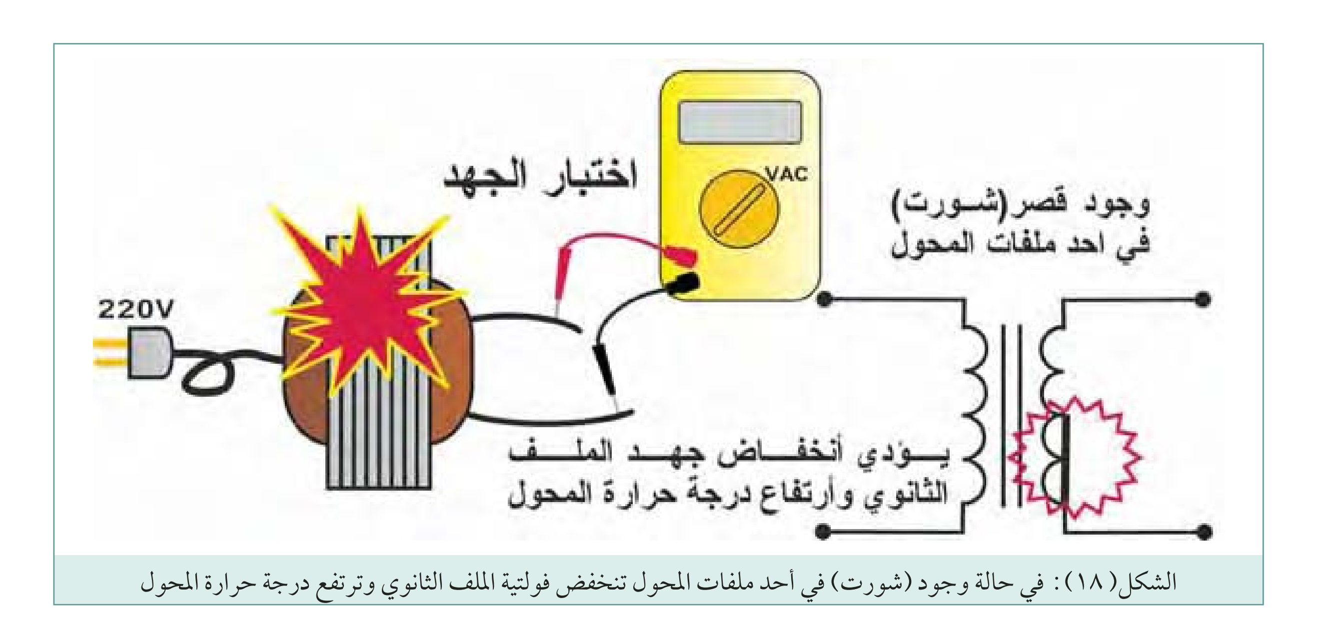
٣ أفحص مقاومة الملف الابتدائي.

٤ أفحص مقاومة الملف الثانوي. الملف الذي يعطي مقاومة عالية جداً يكون تالف.

ب الأعطال الجزئية:

وفي هذه الحالة لا يؤدي المحول عمله بالشكل المطلوب، كأن تتدنى فولتبة الطرف الثانوي، أو يسحب الطرف الابتدائي تيار أعلى من المقرر، أو ترتفع درجة حرارة المحول بشكل ملحوظ، والأسباب المتوقعة هي :

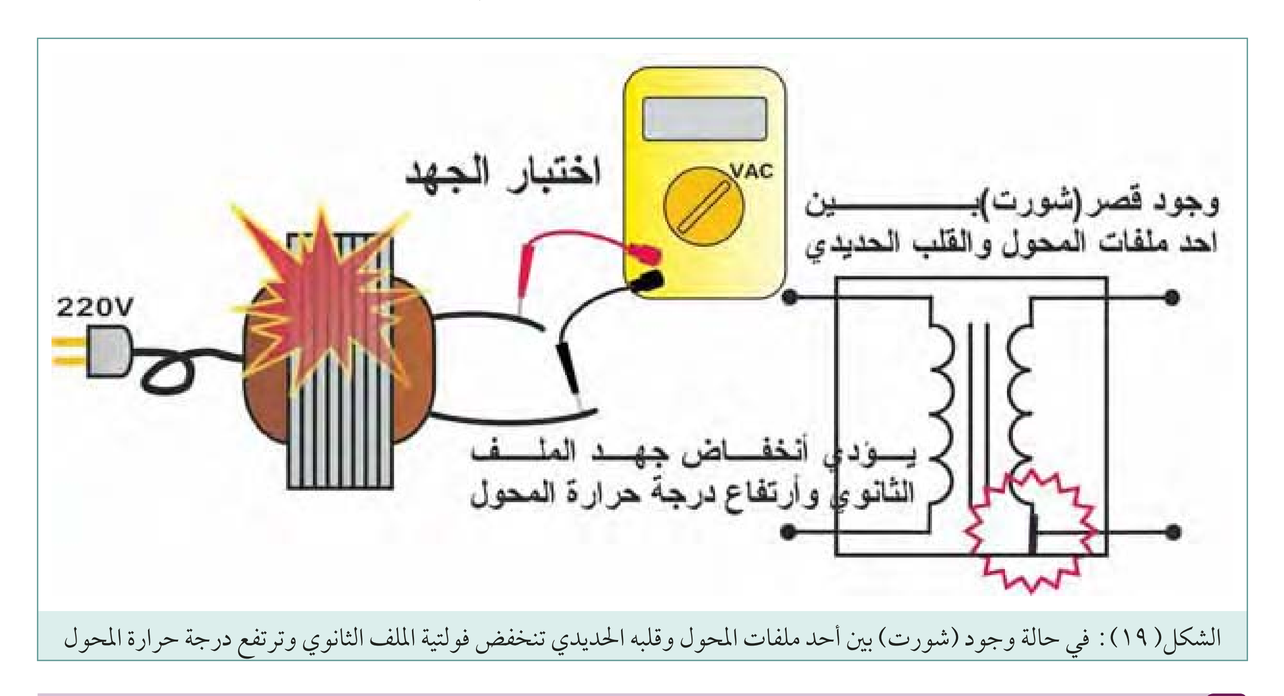
١ حدوث قِصر (شورت) جزئي في أحد ملفي المحول أو كلاهما، وهذا يؤدي إلى انخفاض فولتية الملف الثانوي وارتفاع درجة حرارة المحول. في هذه الحالة، قياس مقاومة الملف الثانوي لن يكون مجدياً، حيث يصعب ملاحظة الانخفاض الطفيف في مقاومة الملف، ويفضل استبدال المحول ومراقبة أداء المحول الجديد.



الشكل(١٨): في حالة وجود (شورت) في أحد ملفات المحول تنخفض فولتية الملف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول

٢ حدوث قِصر (شورت) جزئي بين بعض لفات أحد ملفي المحول وقلبه، وهذا يؤدي إلى تأريض الملف وانخفاض ملموس في فولتية الطرف الثانوي وارتفاع ملموس في درجة حرارة المحول. يمكن فحص هذا العطل بقياس المقاومة بين إطراف الملف الثانوي وقلب المحول باستعمال جهاز أومميتر تقليدي أو جهاز قياس مقاومة العزل (Megger).

٣ حدوث قِصر (شورت) كلي في أحد ملفي المحول أو كلاهما، في هذه الحالة تعدم فولتية الطرف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول بشكل ملحوظ، وقياس مقاومة الملف الثانوي يظهر مقاومة منخفضة جداً (صفر تقريباً).



الشكل (١٩): في حالة وجود (شورت) بين أحد ملفات المحول وقلبه الحديدي تنخفض فولتية الملف الثانوي وترتفع درجة حرارة المحول

أسئلة الدرس:

١ وضح بالرسم تركيب المحول الكهربائي.

٢ اشرح باختصار مبدأ عمل المحول الكهربائي.

٣ اذكر المتغيرات التي تعتمد عليها الفولتية المتولدة في الملف الثانوي للمحول الكهربائي.

٤ محول خافض 30/220 فولت، عدد لفات الملف الابتدائي 200 لفة، أحسب عدد لفات الملف الثانوي.

٥ محول خافض 220\25 فولت، تيار الملف الابتدائي 0.5 أمبير، أحسب تيار الملف الثانوي.

٦ محول يعمل من مصدر جهد 220 فولت، ونسبة عدد لفاته ($\frac{1}{11}$)، تيار ملفه الابتدائي 0.4 أمبير، أوجد فولتية ملفه الثانوي وتياره.

٧ محول قدرته 24 فولت-أمبير (VA)، فولتية ملفه الثانوي 12 فولت، أوجد القيمة القصوى للتيار الثانوي.

٨ عندما تريد تبديل محول تالف بآخر جديد، ما هي أهم المواصفات الفنية التي تشترطها في المحول الجديد؟

٩ أرسم الرموز الفنية للمحولات التالية:

أ محول القدرة.
ب المحول الذاتي الخافض.
ج المحول الذاتي الرافع.
د المحول ذو قلب الفرايت.
هـ المحول ذو نقطة الوسط.

١٠ ضع دارة حول الإجابة الصحية.

- يعتمد مبدأ عمل المحول على خاصية:

أ التأثير الذاتي.
ب التأثير المتبادل بين ملفين.

- جـ التأثير الكهرومغناطيسي . د جميع ما ذكر .

- وظيفة قلب المحول الأساسية هي :
  - أ حمل ملفات المحول . ب يشكل الهيكل الخارجي للمحول .
  - جـ يركز خطوط المجال المغناطيسي التي ينتجها الملف الابتدائي وينقلها إلى الملف الثانوي .
  - د يركز خطوط المجال المغناطيسي التي ينتجها الملف الثانوي وينقلها إلى الملف الابتدائي .

- تعتمد نوع مادة قلب المحول على :
  - أ قيمة فولتية المصدر . ب التيار الابتدائي .
  - جـ تيار الحمل . د تردد الفولتية .

- يستخدم المحول ذو قلب الفرايت عند :
  - أ الترددات المنخفضة كترددات الفولتية المنزلية (50 هيرتز) . ب الترددات المتوسطة
  - جـ الترددات الراديوية العالية . د جميع ما ذكر .

- يمكن استعمال المحول الذاتي كمحول عزل .
  - أ صح . ب خطأ .

- القدرة الخارجة من المحول لا تساوي القدرة الداخلة إلى المحول بسبب :
  - أ الفقد الحديدي . ب الفقد النحاسي .
  - جـ استخدام نسبة لفات مخفضة للفولتية . د أ+ب .

- ما هي نسبة عدد اللفات في محول مطبق علية جهد ابتدائي قدره (400) فولت ، فأعطى جهد ثانوي قدره (100) فولت؟
  - أ $(\frac{1}{4})$. ب $(\frac{1}{5})$. جـ $(\frac{1}{3})$. د $(\frac{2}{4})$.

- محول خافض للفولتية ، تيار ملفه الابتدائي (2) أمبير ، القيمة المتوقعة لتيار ملفه الثانوي :
  - أ أقل من (2) أمبير . ب أعلى من (2) أمبير .
  - جـ تساوي (2) أمبير . د يصعب التنبؤ .

- حدوث قصر (شورت) جزئي بين بعض لفات الملف الثانوي وقلب المحول يؤدي إلى :
  - أ انخفاض فولتية الطرف الثانوي . ب ارتفاع درجة حرارة المحول .
  - جـ المحول لا يعمل نهائياً . د الإجابتين أ+ب .

- محول خافض للفولتية (110/220) فولت ، عدد لفات الملف الابتدائي (400) لفة ، عدد لفات الملف الثانوي :
  - أ 800 لفة . ب 200 لفة . جـ 110لفة . د 220 لفة .

العناصرالإلكترونية

ثنائي شبه موصل

ثنائي شبه موصل

١

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة خصائص ثنائي شبه الموصل.
- معرفة الفرق بين الانحياز الأمامي والانحياز العكسي للثنائي.
- معرفة المقاومة الاستاتيكية والديناميكية للثنائي.
- معرفة الدائرة المكافئة للثنائي.
- معرفة خصائص الثنائي المثالي.
- معرفة الفرق بين ثنائي السيليكون وثنائي الجرمانيوم.

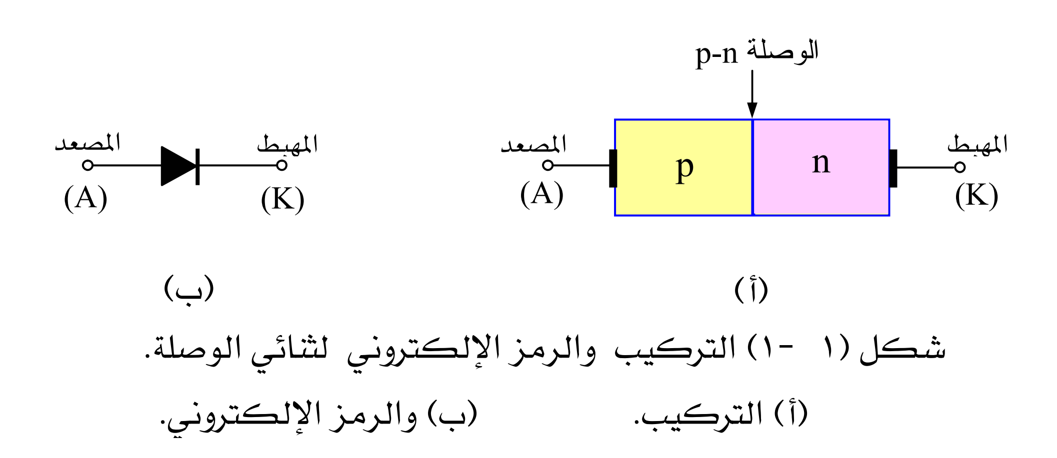
١ -١ مقدمة Introduction

نظراً لأن موصلية أشباه الموصلات النقية تعتبر صغيرة جداً إذا ما قورنت مع موصلية المعادن، فإن بعض الشوائب تضاف إلي أشباه الموصلات النقية وذلك لرفع موصليتها، ويطلق على عملية إضافة الشوائب هذه بعملية التطعيم (doping).

تصنف أشباه الموصلات ذات الشوائب من حيث المواد المطعمة بها إلي أشباه موصلات من النوع السالب أو النوع n- (n-type) وأشباه موصلات من النوع الموجب أو النوع p- (p-type). تسلك مادة شبه الموصل المطعمة بالنوع n- أو النوع p- سلوك الموصل للتيار الكهربائي وللحصول على عناصر إلكترونية تعمل بخاصية بعيدة عن سلوك شبه الموصل المنفرد لابد من استخدام النوعين n و p في تشكيل هذه العناصر. وسوف نتعرف في هذه الوحدة على أحد عناصر أشباه الموصلات وهو ثنائي الوصلة p-n.

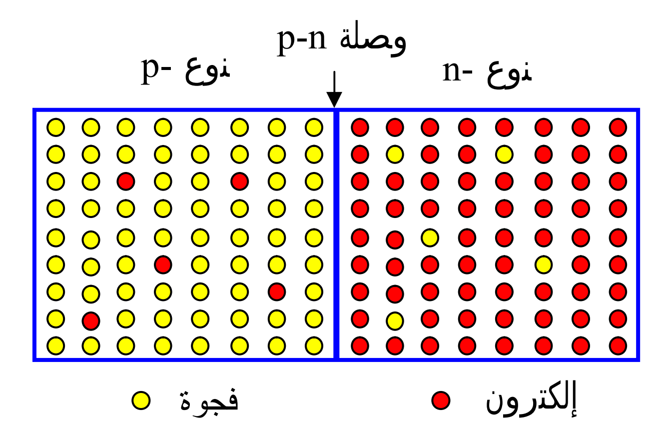
١ -٢ ثنائي الوصلة p-n The p-n Junction Diode

يتم تشكيل ثنائي الوصلة p-n على بلورة أحادية ومتصلة (Continuous and single crystal) من مادة شبه موصل نقي مثل السيليكون أو الجرمانيوم يطعم أحد جانبي هذه البلورة بشوائب مانحة (Donor impurity) وطعم الجانب الآخر بشوائب كاسبة (Acceptor impurity). والجدير بالذكر أنه لا يمكن تشكيل ثنائي الوصلة p-n بمجرد وضع قطعة من مادة شبه موصل نوع n- (n-type) ملاصقة لمادة نوع p- (p-type) لأن عدم الاستمرارية في البناء البلوري لمادة شبه الموصل يؤدي إلى ضياع كل الصفات التي شُكِل ثنائي الوصلة من أجلها. ويبين شكل (١ -١) التركيب والرمز الإلكتروني لثنائي الوصلة. ونلاحظ أن للثنائي طرفين الطرف الأول المتصل بالمادة نوع p- ويطلق عليه المصعد أو الانود (anode) ويرمز له بالحرف A والطرف الثاني المتصل بالمادة نوع n- ويطلق عليه المهبط أو الكاثود (cathode) ويرمز له بالحرف K.



شكل (١ -١) التركيب والرمز الإلكتروني لثنائي الوصلة.
(أ) التركيب. (ب) والرمز الإلكتروني.

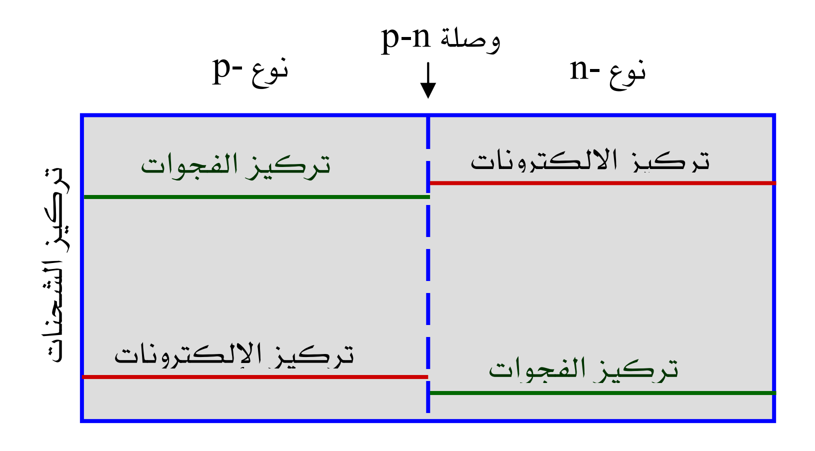
شكل (١ -٢) يبين لنا توزيع الشحنات في ثنائي الوصلة حيث تكون غالبية الشحنات (حاملات التيار) في الجزء الأيسر والذي يحتوي على مادة نوع p- فجوات (Holes) وتمثل الإلكترونات (Electrons) أقلية في هذا الجزء، بينما تكون غالبية الشحنات في الجزء الأيمن والذي يحتوي على مادة نوع n- إلكترونات وتمثل الفجوات أقلية في هذا الجزء.



شكل (١ -٢) توزيع الشحنات في ثنائي الوصلة p-n.

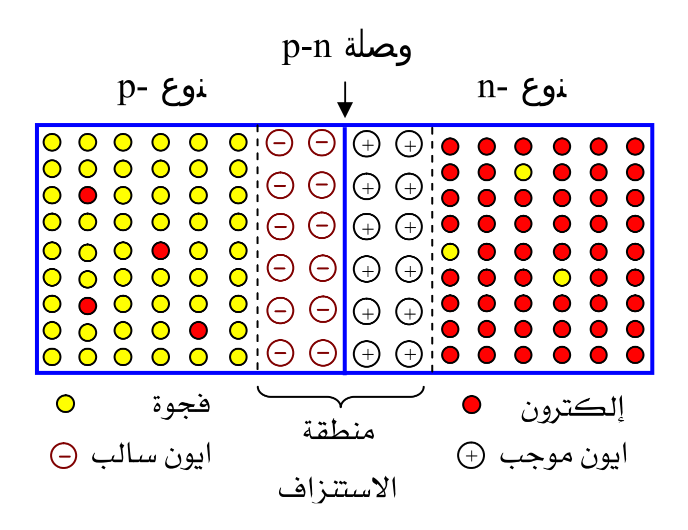
١ -٣ ثنائي الوصلة p-n عند الاستقرار The p-n Junction Diode at Equilibrium

عند تشكيل ثنائي الوصلة p-n يكون تركيز كل من الإلكترونات والفجوات على جانبي الوصلة بين المادتين p , n كما هو مبين في شكل (١ -٣). ونتيجة لهذا الاختلاف في التركيز على جانبي الوصلة فإن الشحنات سوف تنتشر من الوسط الأكثر تركيزا إلى الوسط الأقل تركيزا. حيث تنتشر الإلكترونات من المادة n إلى المادة p كما تنتشر الفجوات من المادة pإلى المادة n. لذا نجد أن الإلكترونات القريبة من الوصلة قد اختفت نتيجة انتشارها إلى المادة نوع p - واتحادها مع الفجوات التي انتشرت هي الأخرى من المادة نوع p- إلى المادة نوع n-.



شكل (١ -٣) تركيز الإلكترونات والفجوات على جانبي الوصلة.

ونتيجة لعملية الانتشار والاتحاد هذه نجد أن المنطقة القريبة من الوصلة أصبحت لا تحتوي على إلكترونات أو فجوات حرة، كما أن الشحنة في هذه المنطقة أصبحت غير متعادلة لأن الإلكترون الذي يعبر إلى المنطقة p يترك ذرته على شكل أيون موجب كما أن الفجوة التي تعبر من المنطقة pإلى المنطقة n تبقى ذرته على شكل أيون سالب. وهكذا تتكون شحنة فراغية (space-charge) على جانبي الوصلة ويطلق على هذه المنطقة التي تكونت فيها الشحنة الفراغية منطقة الاستنزاف (Depletion Region) أو منطقة الانتقال (Transition Region) أو منطقة الشحنة الفراغية (Space-charge Region). ويبين شكل (١ -٤) منطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة p-n. ويعتمد عرض منطقة الاستنزاف على نسبة تركيز الشوائب في مادة شبه الموصل.



شكل (١ -٤) منطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة -p

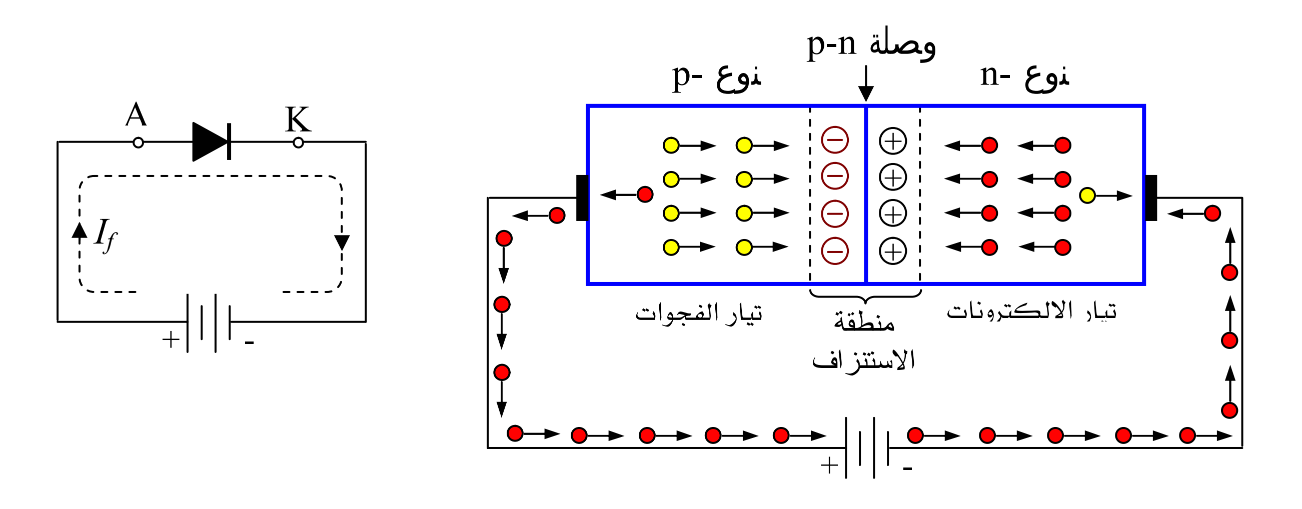
وحيث إن الشحنة الفراغية داخل منطقة الاستنزاف تكون موجبة الشحنة في الجانب n– وسالبة الشحنة في الجانب p–، فإنه ينشيء فرق جهد على جانبي الوصلة ويطلق على هذا الجهد "الجهد الحائل"، ويرمز له بالرمز V_B، حيث يؤدي هذا الجهد إلى تكوين مجال كهربائي يكون اتجاهه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة أي من الجانب -n إلى الجانب -p، ويؤدي هذا المجال إلى عرقلة انتشار الإلكترونات إلى الجانب -p والفجوات إلى الجانب -n. وبذلك نجد أن الشحنة الفراغية في منطقة الاستنزاف يستمر تكوينها حتى تصبح شدة المجال الكهربائي المتولدة عنها كافية لمنع انتشار الشحنات.

١-٤ ثنائي الوصلة p-n عند تطبيق جهد الانحياز The p-n Junction Diode with Applied Bias

يوجد نوعين من الانحياز هما الانحياز الأمامي (Forward Bias) والذي يكون عنده جهد المنطقة -p موجبا بالنسبة للمنطقة -n. والانحياز العكسي (Reverse Bias) والذي يكون عنده جهد المنطقة -p سالبا بالنسبة للمنطقة -n. وسوف نتناول في هذا الجزء دراسة نوعى الانحياز.

١-٤-١ الانحياز الأمامي Forward Bias

عند توصيل ثنائي الوصلة p-n ببطارية بحيث يكون الجانب -p للثنائي متصل بالقطب الموجب للبطارية الجانب -n للثنائي متصل بالقطب السالب للبطارية كما هو موضح بالشكل (١-٥) ، فإن الثنائي يكون في حالة انحياز أمامي وهى الحالة التي تسمح للثنائي بتوصيل التيار. في هذه الحالة تتنافر الإلكترونات في الجانب -n مع القطب السالب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب -p، بينما الفجوات في الجانب -p تتنافر مع القطب الموجب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب -n. ونتيجة لذلك يقل عدد الايونات الموجبة في الجانب -n من منطقة الاستنزاف و يقل عدد الايونات السالبة في الجانب -p من منطقة الاستنزاف وتضيق منطقة الاستنزاف.



شكل (١-٥) ثنائي الوصلة في حالة انحياز أمامي.

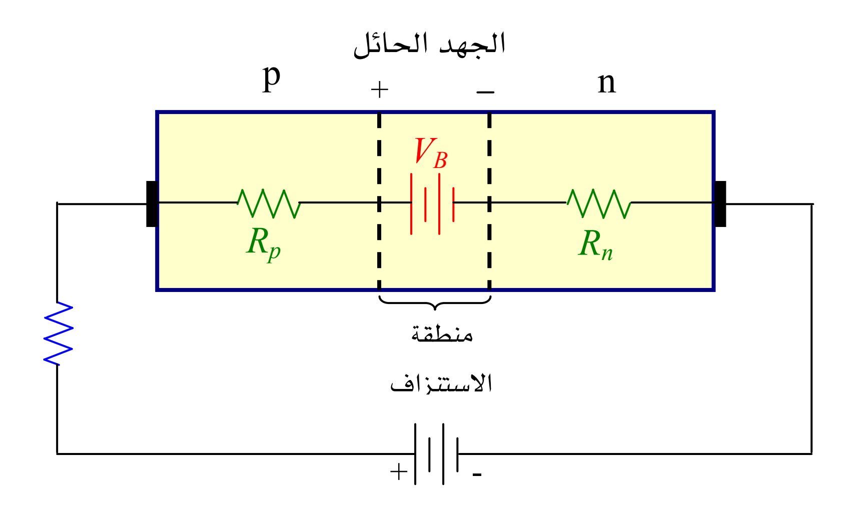
عند زيادة قيمة جهد البطارية عن قيمة الجهد الحائل، فإن عرض منطقة الاستنزاف يقل إلى الحد الذي يسمح باستمرار سريان التيار بين قطبي المصدر عبر الوصلة.

مما سبق يتضح لنا أن الثنائي عندما يكون في حالة انحياز أمامي فإن الإلكترونات سوف تنتشر من المادة نوع -n إلى المادة نوع -p، كما أن الفجوات سوف تنتشر من المادة نوع -p إلى المادة نوع -n. ونتيجة لهذا الانتشار يضيق عرض منطقة الاستنزاف ويمر خلال الثنائي تيار كهربائي ناتج عن انتشار الحاملات الغالبية للتيار وله مركبتين الأولى هي المركبة الناتجة عن انتشار الإلكترونات والأخرى الناتجة عن انتشار الفجوات. تزداد شدة التيار المار بالوصلة بزيادة قيمة الجهد الأمامي المطبق على الثنائي ويسمى التيار في هذه الحالة بالتيار الأمامي (Forward current) ويرمز له بالرمز I_f. ويكون اتجاهه من المصعد إلي المهبط وقيمته بالميلي أمبير.

ويمكن تمثيل الجهد الحائل لمنطقة الاستنزاف ببطارية صغيرة لها قطبية عكس قطبية الجهد المطبق في حالة الانحياز الأمامي كما هو مبين بشكل (١ -٦)، وبالتالي لكي يمر تيار عبر الثنائي فإنه يجب أن تكون قيمة الجهد المطبق في حالة الانحياز الأمامي أكبر من قيمة الجهد الحائل. وتختلف قيمة الجهد الحائل باختلاف نوع الثنائي فمثلا في حالة الثنائي المصنوع من السيليكون تكون قيمة الجهد الحائل حوالي 0.7V. أما في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم فإن قيمة الجهد الحائل تكون حوالي 0.3V.

عندما يكون الثنائي في حالة توصيل فإن قيمة الفقد في الجهد على طرفيه تساوي تقريبا قيمة الجهد الحائل حيث يمكن إهمال قيمة الفقد على مقاومة الثنائي وذلك لصغر قيمة مقاومة المنطقة -n (R_n) و مقاومة المنطقة -p (R_p).

ونظراً لأن مقاومة الثنائي في حالة الانحياز الأمامي، والتي تمثل مجموع المقاومتين R_n و R_p، تكون صغيرة جدا فإنه يجب توصيل مقاومة على التوالي مع الثنائي وذلك للحد من قيمة التيار المار في الدائرة.



شكل (١ -٦) الجهد الحائل و مقاومة

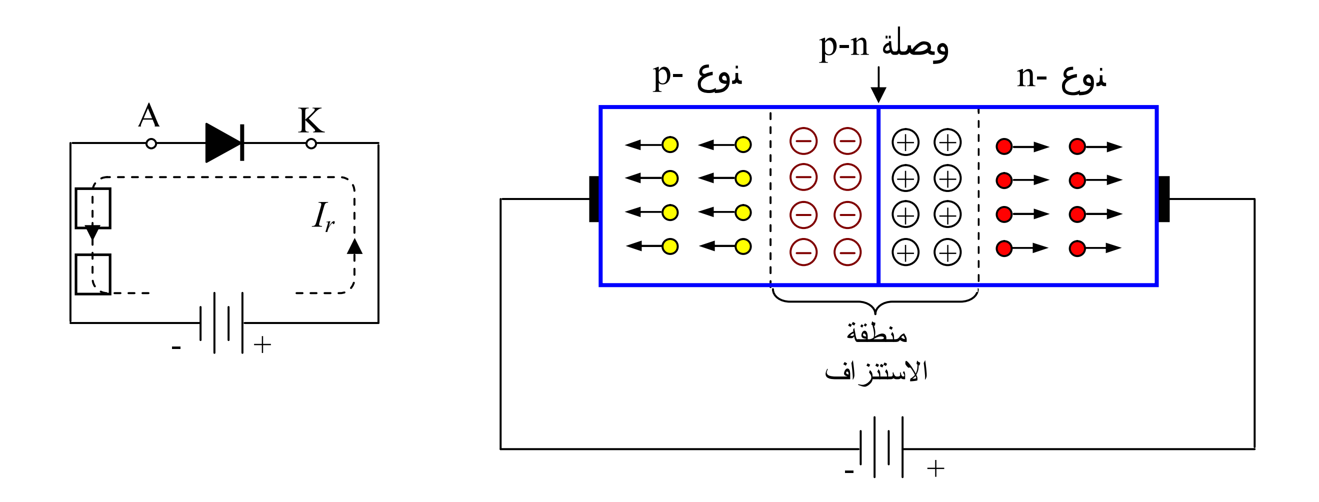
١ -٤ -٢ الانحياز العكسي Reverse Bias

عند توصيل ثنائي الوصلة p-n ببطارية بحيث يكون الجانب -p للثنائي متصل بالقطب السالب للبطارية والجانب -n للثنائي متصل بالقطب الموجب للبطارية كما هو موضح بالشكل (١ -٧)، فإن الثنائي يكون في حالة انحياز عكسي. في هذه الحالة تنجذب الإلكترونات في الجانب -n إلي القطب الموجب للبطارية وتبتعد عن الوصلة بينما تنجذب الفجوات في الجانب -p إلي القطب السالب للبطارية مبتعدة أيضا عن الوصلة. بذلك يزداد عدد الايونات الموجبة في الجانب -n من منطقة الاستنزاف و عدد الايونات السالبة في الجانب -p من منطقة الاستنزاف، ونتيجة لذلك يزداد عرض منطقة الاستنزاف وتزداد شدة المجال الكهربائي بها.

ونتيجة لزيادة شدة المجال الكهربائي في منطقة الاستنزاف تنتقل الإلكترونات من الجانب -p إلي الجانب -n كما تنتقل الفجوات من الجانب -n إلي الجانب -p. نتيجة لانتشار الحاملات الأقلية للتيار المتمثلة في الإلكترونات في الجانب -p و الفجوات من الجانب -n فإن تيار صغير جدا يمر في الاتجاه العكسي (من المهبط إلي المصعد) ويرمز له بالرمز I_r. عند زيادة قيمة جهد الانحياز العكسي إلي قيمة معينة يصبح التيار العكسي ثابتا ولا يعتمد على قيمة الجهد ويطلق عليه تيار التشبع العكسي (Reverse saturation current) ويرمز له بالرمز I_o. ويعتمد هذا التيار على كثافة الحاملات الأقلية للتيار.

ونظرا لأن كثافة الحاملات الأقلية للتيار تعتمد على نسبة الشوائب في شبه الموصل وعلى درجة الحرارة وحيث إن نسبة الشوائب في الثنائي ثابتة، فإن درجة الحرارة تشكل العامل الأساسي في تحديد قيمة التيار العكسي المار في الثنائي.

وبما أن مقاومة الثنائي في حالة الانحياز العكسي، والتي تمثل مجموع المقاومتين R_n و R_p، تكون عالية جدا فإن قيمة التيار العكسي تكون بالميكرو أمبير أو بالنانو أمبير.

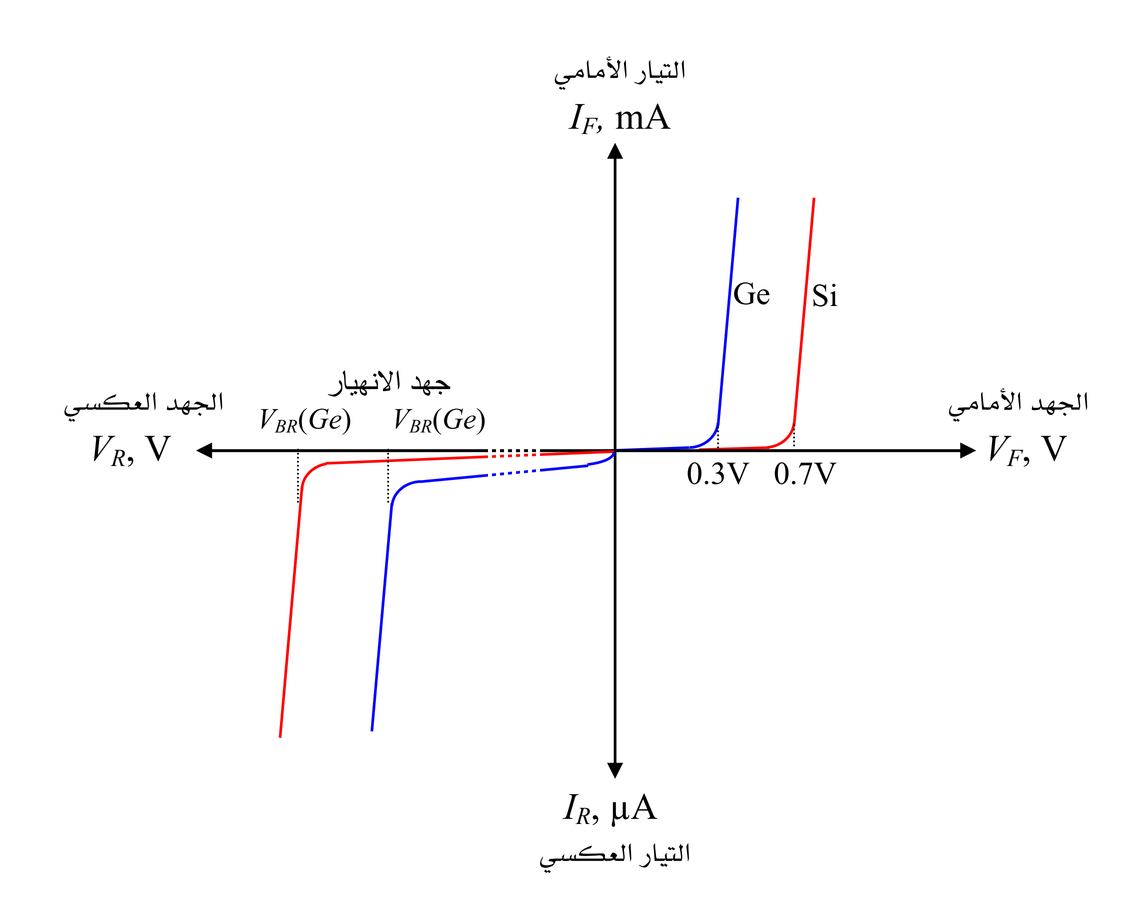


شكل (١ -٧) ثنائي الوصلة في حالة انحياز

١ -٥ منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل Characteristics of the Semiconductor Diode

يمثل منحنى الخواص للثنائي العلاقة بين التيار المار خلال الثنائي وبين الجهد المطبق عليه سواء في حالة الانحياز الأمامي أو الانحياز العكسي. ويبين شكل (١ -٨) منحنى الخواص لثنائي من السيليكون (Si) وآخر من الجرمانيوم (Ge). وكما هو موضح بالشكل فإن الثنائي يوصل التيار عندما يكون التوصيل في الاتجاه الأمامي ولا يوصل تيار إذا كان التوصيل في الاتجاه العكسي (تيار صغير جداً يمكن إهماله) طالما كان الجهد المطبق على طرفيه أقل من جهد الانهيار V_{BR} (Breakdown voltage).

يبين الجزء الأيمن من المنحنى الموضح بشكل (١ -٨) التغير الكبير في قيمة التيار الأمامي عند تغير الجهد الأمامي المطبق على الثنائي، حيث يكون التيار قليل القيمة عندما يكون الجهد المطبق على الثنائي أقل من الجهد الحائل والذي تبلغ قيمته حوالي 0.7V في حالة الثنائي المصنع من السيلكون أو 0.3V في حالة الثنائي المصنع من الجرمانيوم. وعندما يزيد الجهد المطبق على الثنائي عن الجهد الحائل فإن التيار يزيد زيادة كبيرة مع زيادة الجهد.



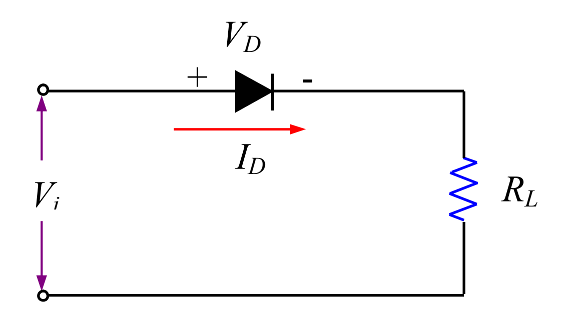
شكل (١ -٨) منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل.

الجزء الأيسر من منحنى الخواص يوضح أن التيار المار في الاتجاه العكسي يكون قريبا من الصفر طالما كان الجهد المطبق على الثنائي أقل من جهد الانهيار، وعند وصول هذا الجهد إلى جهد الانهيار يزداد التيار زيادة كبيرة تؤدي غالبا إلى تدمير الثنائي ويكون هذا الجهد تقريبا حوالي 50V في معظم الثنائيات.

نلاحظ من شكل (١ -٨) استخدام مقياس رسم مختلف لكل من التيار الأمامي والتيار العكسي وذلك لأن التيار العكسي يكون دائما اقل من التيار الأمامي مئات أو آلاف المرات، كما نلاحظ أن قيمة تيار التشبع العكسي في حالة الثنائي المصنوع من الجرمانيوم أكبر بضعفين إلى ثلاثة أضعاف منه للثنائي المصنع من السيليكون.

١ -٦ الثنائي كعنصر في دائرة إلكترونية The Diode as a Circuit Element

تتكون الدائرة الأساسية للثنائي كما هو موضح بالشكل (١ -٩) من ثلاثة عناصر أساسية هي الثنائي D ومقاومة الحمل R_L ومصدر الجهد V_i.



شكل (١ -٩) الدائرة الأساسية

- **خط الحمل ونقطة التشغيل** The Load Line and Operating Point

لتعيين خط الحمل ونقطة التشغيل يجب دراسة الدائرة المبينة بالشكل (١ -٩). عند تطبيق قانون كيرشوف للجهد على هذه الدائرة نحصل على العلاقة الآتية:

$$V_i = V_D + I_D R_L \qquad (١ -١)$$

وحيث إن هذه العلاقة لا تكفي لتحديد قيمة كل من I_D , V_D لأنها تحتوى على مجهولين فإننا سوف نستخدم علاقة أخرى بين كل من I_D , V_D وهي منحنى الخواص للثنائي الموضح بالشكل (١ - ١٠).

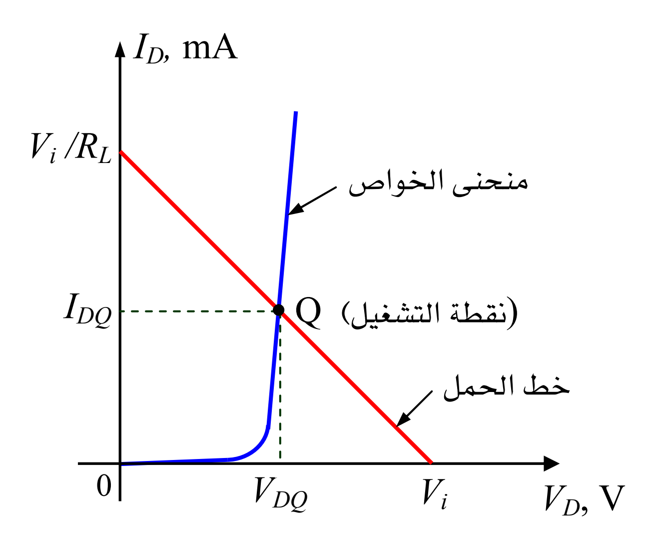
ولرسم خط الحمل المعطى بالمعادلة (١ -١) على منحنى الخواص الموضح بالشكل (١ -١٠)، نلاحظ أن هذا الخط يتقاطع مع المحور الرأسي والذي يمثل التيار I_D عندما يكون فرق الجهد المطبق على الثنائي $V_i = 0$ أي عندما يكون:

$$I_D = V_i / R_L \qquad (١ -٢)$$

كما يتقاطع خط الحمل مع المحور الأفقي والذي يمثل الجهد V_D عندما يكون التيار المار في الثنائي $I_D = 0$ أي عندما يكون:



$$V_D = V_i$$ (١ -٣)



شكل (١ -١٠) منحنى الخواص للثنائي وخط الحمل للدائرة.

نلاحظ أن خط الحمل يتقاطع مع منحنى الخواص عند النقطة Q ويطلق عليها نقطة التشغيل. وعند هذه النقطة يمكن تحديد قيمة التيار المار في الدائرة وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي كما يمكن إيجاد قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل حيث إنه يساوي

$$V_L = I_D R_L = V_i - V_D$$ (١ -٤)

مثال ١ -١:

بالنسبة للدائرة المبينة بالشكل (١ -٩) إذا كانت قيمة $R_L = 50\ \Omega$ و $V_i = 1.5$ V ، أوجد قيمة التيار المار في الدائرة وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي وكذلك قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل، علما بأن منحنى الخواص للثنائي كالمبين بالشكل (١ -١١).

الحل:

بالتعويض عن قيمة R_L و V_i في المعادلة (١ -٢)، فإن نقطة تقاطع خط الحمل مع محور التيار تكون عند:

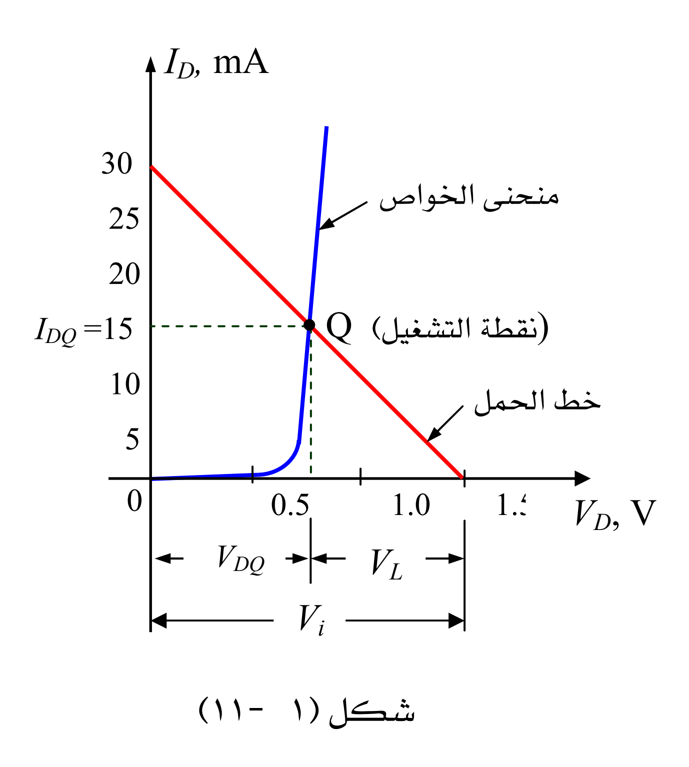
$$I_D = V_i / R_L = 1.5\ \text{V} / 50\ \Omega = 30\ \text{mA}$$

وبالتعويض عن قيمة V_i في المعادلة (١ -٣)، فإن نقطة تقاطع خط الحمل مع محور الجهد تكون عند:

$$V_D = V_i = 1.5 \text{ V}$$

من تقاطع خط الحمل مع منحنى الخواص يمكن تحديد نقطة التشغيل Q ومن إحداثيات هذه النقطة يمكن معرفة قيمة التيار I_{DQ} المار في الدائرة وهى تساوي 15 mA وقيمة فرق الجهد الواقع على الثنائي V_{DQ} تساوي 0.75V. قيمة فرق الجهد الواقع على مقاومة الحمل V_L يمكن استنتاجها من المعادلة (١ -٤) وهي تساوي:

$$V_L = V_i - V_D = 1.5 \text{ V} - 0.75 \text{ V} = 0.75 \text{ V}$$



شكل (١ -١١)

١ -٦ مقاومة الثنائي Diode Resistance

١ -٦ -١ المقاومة الاستاتيكية R_s Static Resistance

تعرف المقاومة الاستاتيكية R_s للثنائي على إنها النسبة بين فرق الجهد الواقع على الثنائي V_D والتيار المار خلال الثنائي I_D عند نقطة معينة على منحنى الخواص للثنائي حيث تمثل هذه النقطة نقطة التشغيل للدائرة. ويمكن التعبير عن قيمة المقاومة الاستاتيكية بالعلاقة الآتية:

$$R_S = \frac{V_D}{I_D} \qquad (١ -٥)$$

ونظرا للتغير الكبير في قيمة المقاومة الاستاتيكية مع قيم الجهد والتيار فإنها لا تعتبر من المعاملات المفيدة بالنسبة للثنائي.

١ -٦ -٢ المقاومة الديناميكية r_d Dynamic Resistance

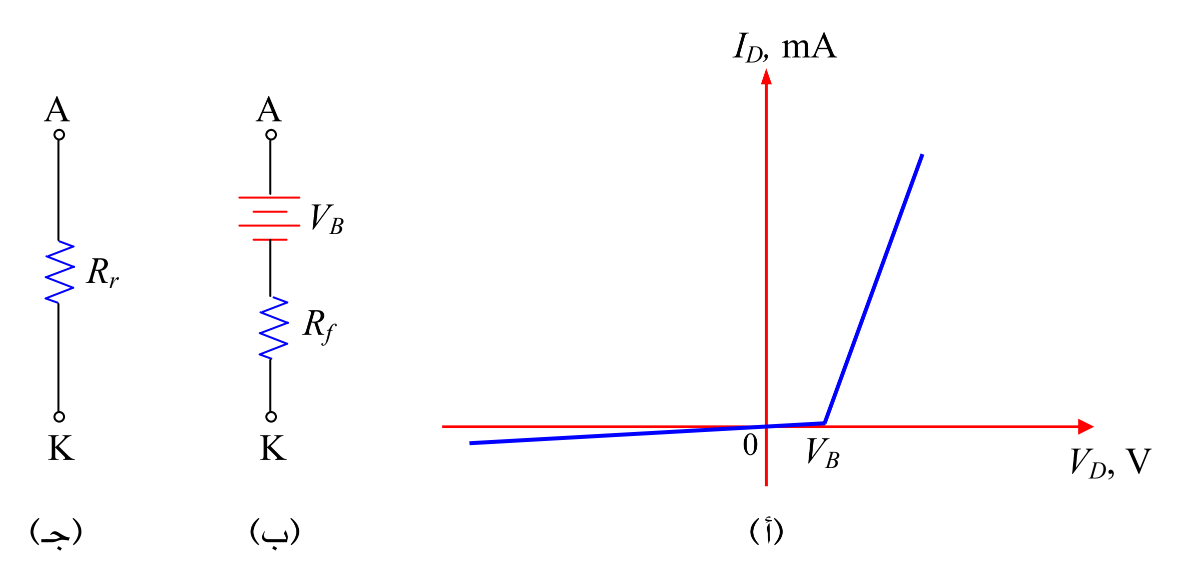
تعتبر المقاومة الديناميكية المقاومة الأكثر أهمية بالنسبة للثنائي ويمكن تحديد هذه المقاومة بإيجاد مقلوب ميل المنحنى عند نقطة التشغيل Q وهى تمثل بالعلاقة الآتية:

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}\Big|_{\text{Q point}} \qquad (١ -٦)$$

تختلف قيمة المقاومة الديناميكية باختلاف حالة الانحياز للثنائي، حيث تكون قيمة هذه المقاومة صغيرة في حالة الانحياز الأمامي بينما تكون كبيرة جدا في حالة الانحياز العكسي.

١ -٧ الدائرة المكافئة للثنائي The Diode Equivalent Circuit

نظراً لأن منحنى الخواص للثنائي عبارة عن علاقة غير خطية، فإن عملية تحليل الدوائر الإلكترونية التي تحتوي على الثنائيات تكون في غاية الصعوبة ولذلك يتم تقريب منحنى الخواص للثنائي إلى علاقة خطية كالمبينة في شكل (١ -١٢أ). ونلاحظ من هذه العلاقة أن الثنائي يبدأ في توصيل التيار بمجرد زيادة الجهد المطبق عليه عن قيمة الجهد الحائل V_B ويسلك الثنائي في هذه الحالة سلوك مقاومة، حيث يتناسب التغير في الجهد مع التغير في التيار، وهذه المقاومة صغيرة جداً ويطلق عليها المقاومة الأمامية للثنائي (forward resistance) ويرمز لها بالرمز R_f، وبالتالي فإن الدائرة المكافئة للثنائي في حالة الانحياز الأمامي تكون كالموضحة بشكل (١ -١٢ب).

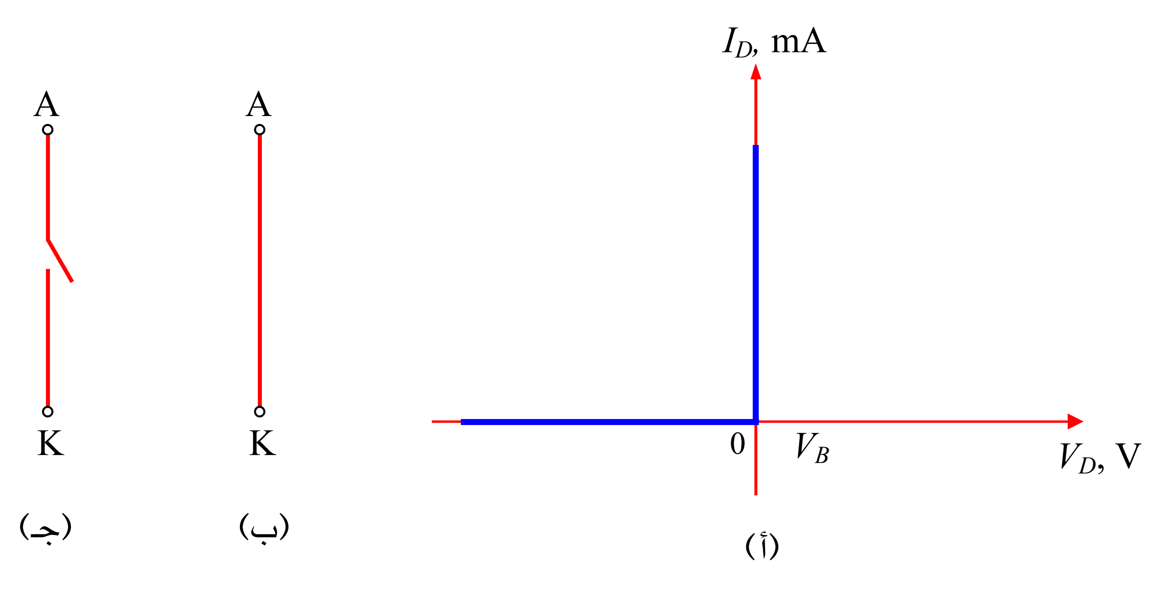


شكل (١ -١٢) العلاقة الخطية بين الجهد والتيار والدائرة المكافئة

أما في حالة الانحياز العكسي فإن الثنائي يمثل مقاومة كبيرة جداً حيث لا يسمح إلا بمرور تيار صغير للغاية يمكن إهماله ويرمز لهذه المقاومة بالرمز R_r ويطلق عليها المقاومة العكسية للثنائي (Reverse resistance)، وتكون الدائرة المكافئة للثنائي في هذه الحالة كالموضحة بشكل (١ -١٢جـ).

- الثنائي المثالي The Ideal Diode

هو ثنائي ذو مواصفات مثالية لا يمكن تحقيقها عملياً. ويبين شكل (١ -١٣أ) خواص الجهد - التيار لهذا الثنائي. نلاحظ من هذه العلاقة أن الثنائي يعمل كمفتاح حيث يسمح بمرور أي قيمة للتيار I_D في الاتجاه الأمامي إذا كانت قيمة فرق الجهد علي طرفي الثنائي V_D تساوي صفر. بينما قيمة التيار I_D في الاتجاه العكسي تساوي صفر إذا كانت قيمة فرق الجهد علي طرفي الثنائي V_D سالبة، وفي هذه الحالة فإن الثنائي يمكن أن يمثل كدائرة قصر (short-circuit) في حالة الانحياز الأمامي حيث $R_f = 0$ و $V_B = 0$ (شكل (١ -١٣ب))، بينما يمثل الثنائي كدائرة مفتوحة (open-circuit) في حالة الانحياز العكسي حيث $R_r = \infty$ (شكل (١ -١٣جـ)).



شكل (١ -١٣) خواص الجهد -التيار والدائرة المكافئة للثنائي المثالي.

١ -٨ مقارنة بين ثنائي السيليكون Si وثنائي الجرمانيوم Ge

Comparison between Silicon and Germanium Diodes

جدول (١ -١) يوضح أهم الفروق بين ثنائي السيليكون وثنائي الجرمانيوم.

الخاصية	ثنائي السيليكون	ثنائي الجرمانيوم
قيمة الجهد الحائل	0.7 V	0.3 V
جهد الانهيار العكسي	في حدود 50 V	في حدود 20 V
أقصى درجة حرارة تشغيل	20^oC	10^oC
التطبيقات	في دوائر الجهود والتيارات الكبيرة	في دوائر الجهود والتيارات الصغيرة

أسئلة علي الوحدة الأولى

١ -١ ما المقصود بمنطقة الاستنزاف في ثنائي الوصلة؟

١ -٢ قارن بين الانحياز الأمامي والعكسي للثنائي من حيث:

١. منطقة الاستنزاف.
٢. مقاومة الوصلة.
٣. مرور التيار.

١ -٣ ارسم منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل مع تعريف كل من الجهد الحائل وجهد الانهيار.

١ -٤ حدد العبارات الصحيحة في كل مما يأتي:

١. يعيق الجهد الحائل في ثنائي الوصلة حاملات التيار
   (أ) الغالبية.
   (ب) الأقلية.
   (ج) الغالبية والأقلية.
٢. تعتمد قيمة تيار التشبع العكسي في ثنائي الوصلة على
   (أ) قيمة الجهد العكسي
   (ب) درجة حرارة الوصلة
   (ج) قيمة الجهد العكسي ودرجة حرارة الوصلة
٣. قيمة مقاومة الثنائي في حالة الانحياز العكسي تكون
   (أ) كبيرة جداً.
   (ب) صغيرة جداً.
   (ج) تساوي صفر.

١ -٤ ما المقصود بخط الحمل ونقطة التشغيل؟

١ -٥ ارسم الدائرة المكافئة للثنائي في حالة الانحياز الأمامي والانحياز العكسي.

١ -٦ ما المقصود بالثنائي المثالي؟

١ -٧ خصائص الجهد -التيار للثنائي المثالي موضحا ملاءمته للعمل كمفتاح.

١ -٨ اذكر أهم الفروق بين ثنائي السيليكون وثنائي الجرمانيوم.

الموحدات ودوائر التنعيم

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- بناء دوائر التوحيد لنصف موجة ولموجة كاملة بواسطة الثنائيات.
- معرفة تأثير الجهد الحائل للثنائي علي خرج دوائر التوحيد.
- معرفة الهدف من دوائر الترشيح.
- معرفة تأثير قيمة سعة المكثف على شكل إشارة الخرج.

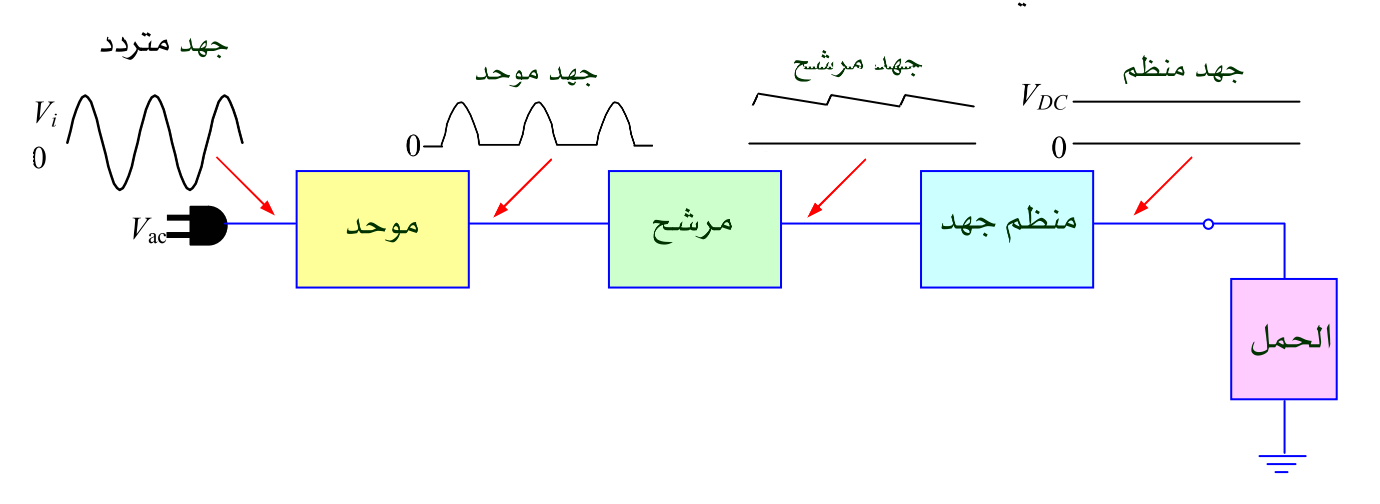
٢ -١مقدمة Introduction

نظراً لمقدرة الثنائي على السماح للتيار بالمرور في اتجاه واحد ومنع مروره في الاتجاه العكسي، فإن الثنائيات تستخدم كموحدات لاتجاه التيار في دوائر التوحيد الموجودة بمصادر القدرة ذات التيار المستمر والتي تعمل على مصادر الجهد المتردد.

وحيث إن مصدر القدرة ذو التيار المستمر يمثل جزء ضروري في كل الأنظمة الإلكترونية، فإننا سوف نناقش في بداية هذه الوحدة المراحل الأساسية التي يتكون منها، ثم نتعرض بعد ذلك لكل مرحلة على حدة بالتفصيل.

٢ -٢ مصدر القدرة الأساسي ذو التيار المستمر The Basic DC Power Supply

يستخدم مصدر القدرة ذو التيار المستمر لإمداد كافة الدوائر الإلكترونية بالقدرة اللازمة لعملية التشغيل، حيث إنه يقوم بتحويل الجهد القياسي المتردد المتاح إلى جهد ذي قيمة ثابتة. ويمثل شكل (٢ -١) المخطط الصندوقي لمصدر القدرة ذي التيار المستمر حيث يقوم الموحد في البداية بتحويل جهد الدخل المتردد إلى جهد موحد الاتجاه في صورة نبضات، ثم يقوم المرشح بعد ذلك بعملية تنعيم وذلك للحصول على قيمة شبه مستمرة ويقوم منظم الجهد بالمحافظة على قيمة جهد الخرج ثابتة وذلك في حالة حدوث تغير لقيمة جهد المصدر الرئيسي المتردد أو نتيجة لتغير تيار الحمل.



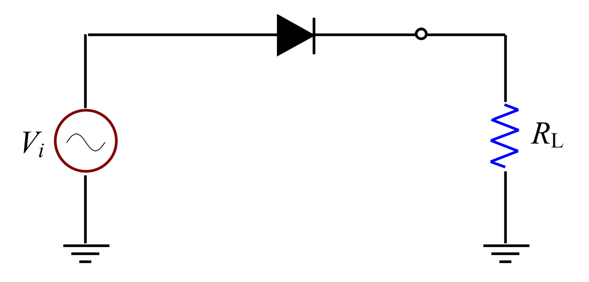
شكل (٢ -١) المخطط الصندوقي لمصدر القدرة ذي التيار المستمر.

٢ -٣ موحد نصف الموجة The Half-Wave Rectifier

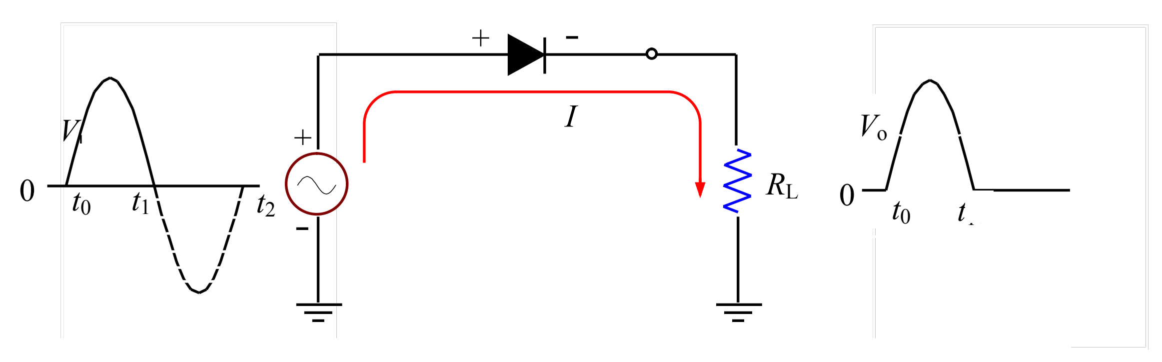
عملية التوحيد يقصد بها تحويل التيار المتردد إلى تيار موحد الاتجاه في صورة نبضات. شكل (٢ -٢أ) يوضح دائرة موحد نصف موجة باستخدام ثنائي واحد، حيث يتصل طرف المصعد للثنائي

بمصدر الجهد المتردد (ac voltage source) المراد توحيده ويتصل طرف المهبط بمقاومة الحمل (load resistance).

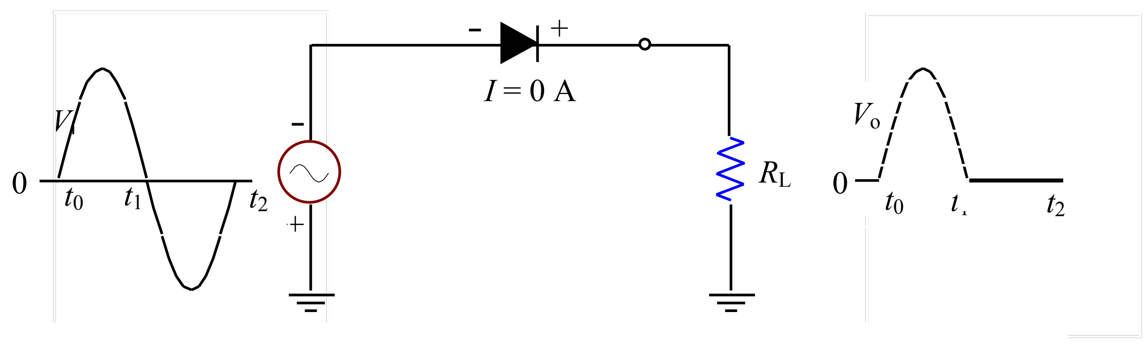
خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي ويسمح للتيار بالمرور خلاله إلى مقاومة الحمل. وفي حالة استخدام ثنائي مثالي (ideal diode) فإن قيمة الجهد المفقود على طرفي الثنائي تساوي صفر، وبالتالي يكون الجهد الناتج على طرفي مقاومة الحمل مطابق تماما لشكل النصف الموجب لموجة جهد الدخل كما هو مبين بشكل (٢ -٢ب).



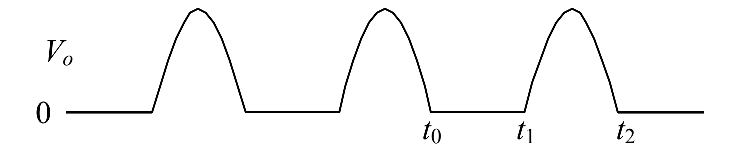
شكل (٢ -٢أ) دائرة موحد نصف



شكل (٢ -٢ب) عملية التوحيد خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل.



شكل (٢ -٢ج) عملية التوحيد خلال النصف السالب لموجة جهد الدخل.



شكل (٢ -٢د) الخرج النهائي لموحد نصف الموجة.

شكل (٢ -٢) عملية التوحيد باستخدام موحد نصف موجة.

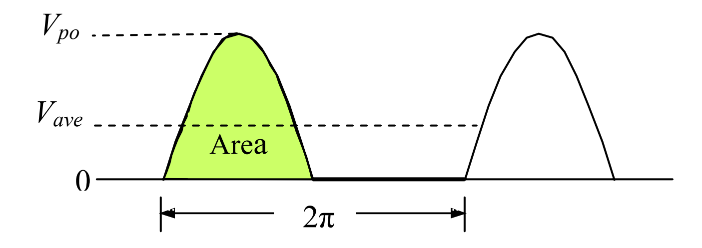
خلال ال ... ي ولا يسمح للتيار بالمرور خلاله، وبالتالي فإن قيمة الجهد الناتج على طرفي مقاومة الحمل تساوي صفر كما هو موضح بشكل (٢ -٢جـ). شكل (٢ -٢د) يوضح الخرج النهائي لموحد نصف الموجة.

٢ -٣ -١ القيمة المتوسطة لجهد الخرج لموحد نصف الموجة

Average Value of the Half-Wave Output Voltage

القيمة المتوسطة لجهد الخرج لموحد نصف الموجة هي القيمة التي تقاس بواسطة جهاز قياس الجهد المستمر(dc voltmeter)، ورياضيا يمكن حسابها بقسمة المساحة تحت منحنى جهد الخرج الموحد خلال دورة كاملة على2π، كما هو موضح بشكل (٢ -٣). وبفرض أن القيمة العظمى (peak value) لجهد الخرج تساوي V_{Po} فإن القيمة المتوسطة (average value) لجهد الخرج لموحد نصف الموجة ويرمز لها بالرمز V_{ave} تعطى بالعلاقة الآتية:

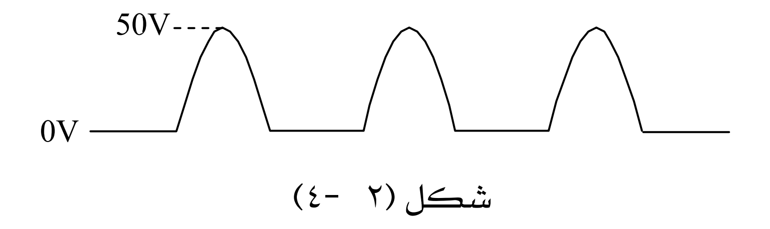
$$V_{ave} = \frac{V_{P_O}}{\pi} \qquad (٢ -١)$$



شكل (٢ -٣) القيمة المتوسطة لجهد الخرج لموحد نصف الموجة.

مثال ٢ -١:

أوجد القيمة المتوسطة (V_{ave}) للجهد الموحد نصف موجة المبين في شكل (٢ -٤).



شكل (٢ -٤)

الحل:

$$V_{ave} = \frac{V_{Po}}{\pi} = \frac{50}{3.14} = 15.9\text{V}$$

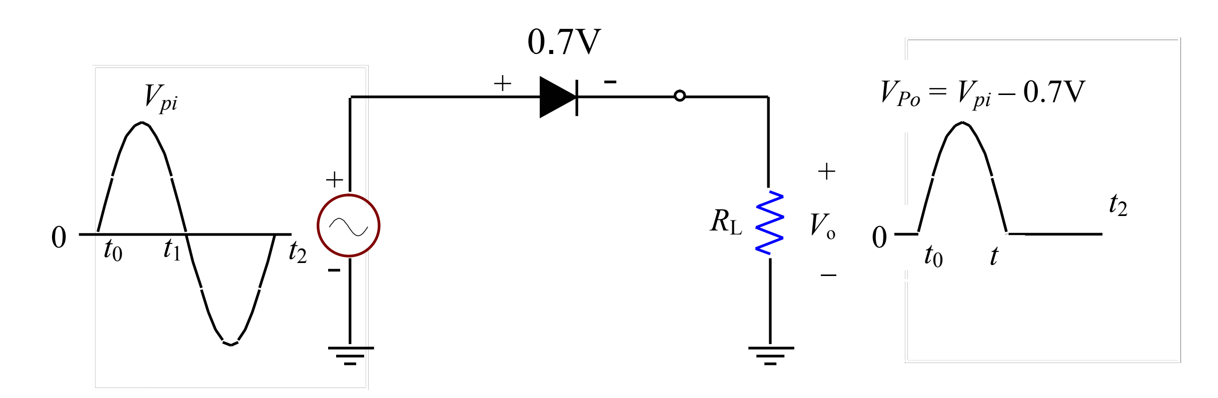
٢ -٣ -٢ تأثير الجهد الحائل على خرج موحد نصف الموجة

Effect of the Barrier Potential on the Half-Wave Rectifier Output

في الجزء السابق كنا نفترض أن الثنائي مثالي وبالتالي أهملنا قيمة الجهد الحائل، ولكن في حالة استخدام الثنائي العملي فإننا يجب أن نأخذ في الاعتبار قيمة الجهد الحائل، وبالتالي فخلال نصف الموجة الموجب يجب أن تكون قيمة جهد الدخل أكبر من قيمة الجهد الحائل لكي يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي وهو ما يجعل القيمة العظمى لجهد الخرج V_{Po} تقل عن القيمة العظمى لجهد الدخل V_{Pi} بمقدار قيمة الجهد الحائل، كما هو موضح بشكل (٢ -٥) ، ويمكن التعبير عن القيمة العظمى لجهد الخرج في حالة استخدام الثنائي السيليكونى (الجهد الحائل = 0.7V) بالعلاقة الآتية:-

$$VPo = VPi - 0.7 \qquad (٢ -٢)$$

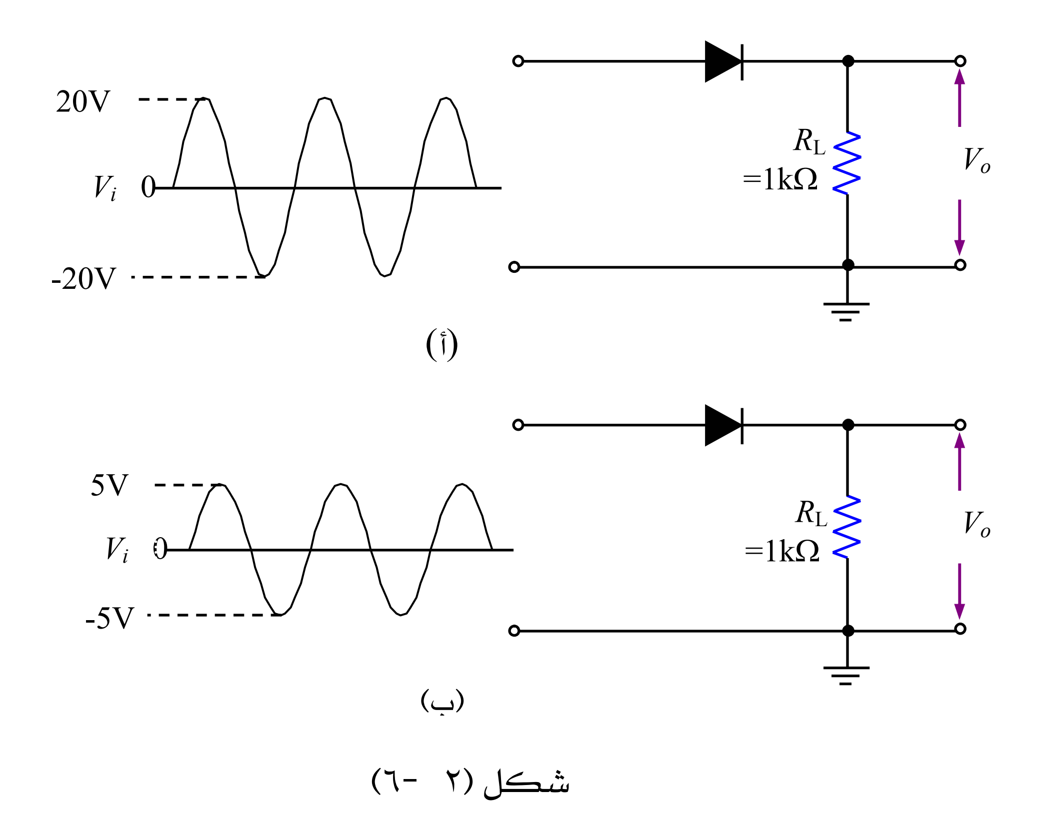
وبالرغم من إمكانية إهمال قيمة الجهد الحائل وبخاصة عندما يكون الجهد المطبق أكبر بكثير (على الأقل 10V) من قيمة الجهد الحائل، إلا أننا سوف نأخذ في الاعتبار قيمة الجهد الحائل للثنائي ما لم يذكر عكس ذلك.



شكل (٢ -٥) تأثير الجهد الحائل على خرج موحد نصف

مثال ٢ -٢:

ارسم جهود الخرج الموحدة عندما تكون جهود الدخل كالمبينة بشكل (٢ -٦).



شكل (٢ -٦)

الحل:

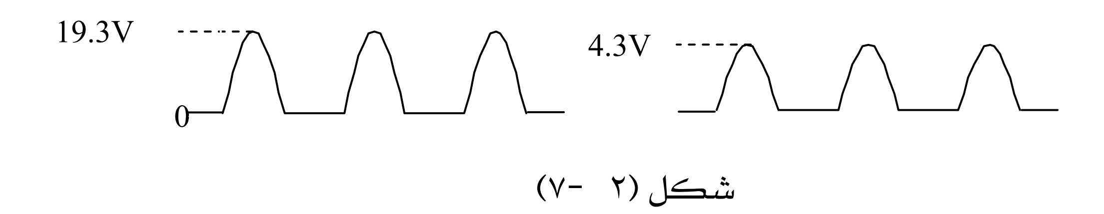
القيمة العظمى لجهد الخرج للدائرة (أ) تساوي:

$VPo = VPi - 0.7 = 5V - 0.7V = 4.3V$

القيمة العظمى لجهد الخرج للدائرة (ب) تساوي:

$VPo = VPi - 0.7 = 20V - 0.7V = 19.3V$

وبالتالي فإن جهود الخرج تكون كالمبينة بشكل (٢ -٧)



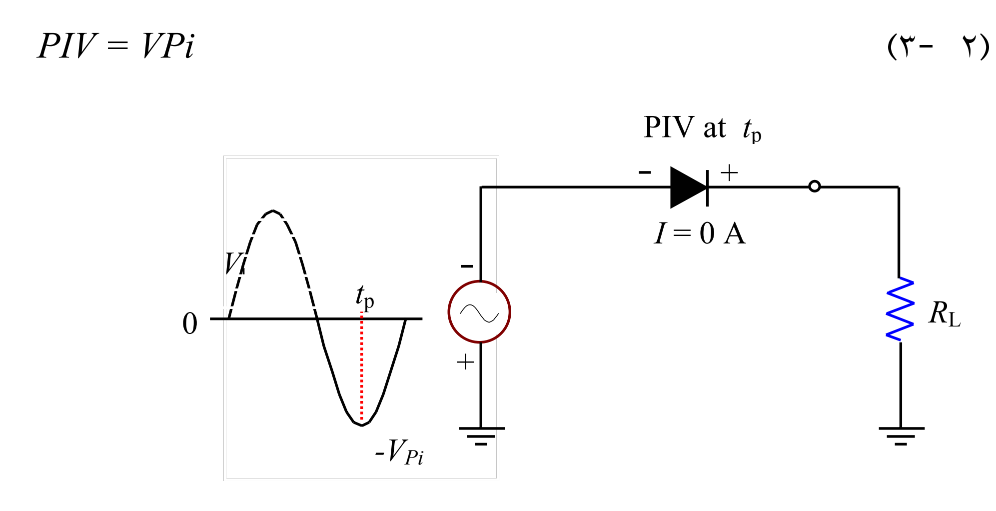
شكل (٢ -٧)

٢ -٣ -٣ الجهد العكسي الأقصى   Peak Inverse Voltage (PIV)

عندما تكون موجة جهد الدخل لدائرة التوحيد المبينة بشكل (٢ -٨) عند أقصى قيمة سالبة فإن الثنائي يكون في حالة انحياز عكسي، وعند هذه اللحظة يمكن حساب أقصى قيمة جهد يتعرض لها الثنائي وهو ما يطلق عليه بالجهد العكسي الأقصى (PIV).

ويتضح من شكل (٢ -٨) أن الجهد العكسي الأقصى للثنائي في دائرة موحد نصف الموجة يساوي القيمة العظمى لجهد الدخل، أي أن:

$$PIV = VPi \qquad (٢ -٣)$$

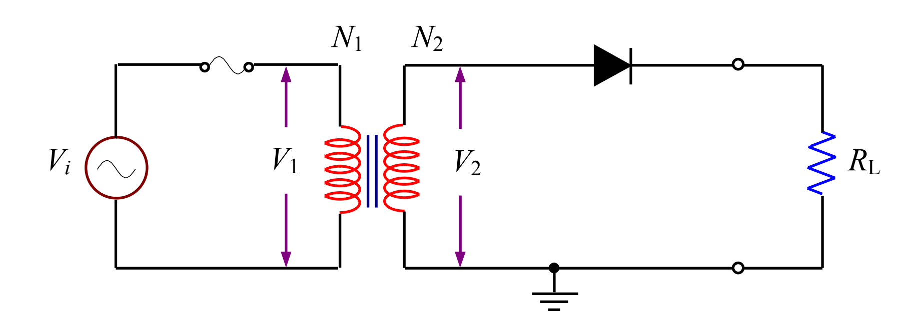


شكل (٢ -٨) تحديد الجهد العكسي الأقصى.

٢ -٣ -٤ موحد نصف موجة متصل بجهد الدخل عن طريق محول
Half-Wave Rectifier with Transformer-Coupled Input Voltage

غالباً ما يستخدم المحول (Transformer) للربط بين مصدر الجهد المتناوب والموحد حيث أن للمحول ملفين أحدهما يطلق عليه الملف الابتدائي (Primary winding) وهو متصل بمصدر الجهد المتناوب، والآخر ويطلق عليه الملف الثانوي (Secondary winding) متصل بالموحد كما هو مبين بشكل (٢ -٩). ونتيجة للجهد المطبق على طرفي الملف الابتدائي يمر تيار خلال هذا الملف مسببا مجال كهربائي (Electric field) وعندما يقطع هذا المجال الملف الثانوي فإنه يولد بين طرفيه فرق جهد.

وهناك ميزتان لعملية الربط باستخدام المحول، الأولى أنه يسمح برفع وخفض جهد المصدر حسب الحاجة، والثانية أنه يحقق العزل الكهربي بين مصدر التيار المتناوب والموحد وذلك لمنع الصدمات الكهربائية المفاجئة في دائرة الملف الثانوي.



شكل (٢ -٩) موحد نصف موجة متصل بجهد الدخل عن طريق محول.

وعملية رفع وخفض الجهد تتم من خلال اختلاف عدد اللفات للملفين الابتدائي والثانوي، حيث أن الجهد على طرفي الملف الثانوي للمحول يساوي النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي إلى عدد لفات الملف الابتدائي مضروبة في الجهد على طرفي الملف الابتدائي وهو ما تعبر عنه المعادلة الآتية:

$$V_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) V_1 \qquad (٢ -٤)$$

حيث:-

N_1 = عدد لفات الملف الابتدائي

N_2 = عدد لفات الملف الثانوي

V_1 = الجهد بين طرفي الملف الابتدائي

V_2 = الجهد بين طرفي الملف الثانوي

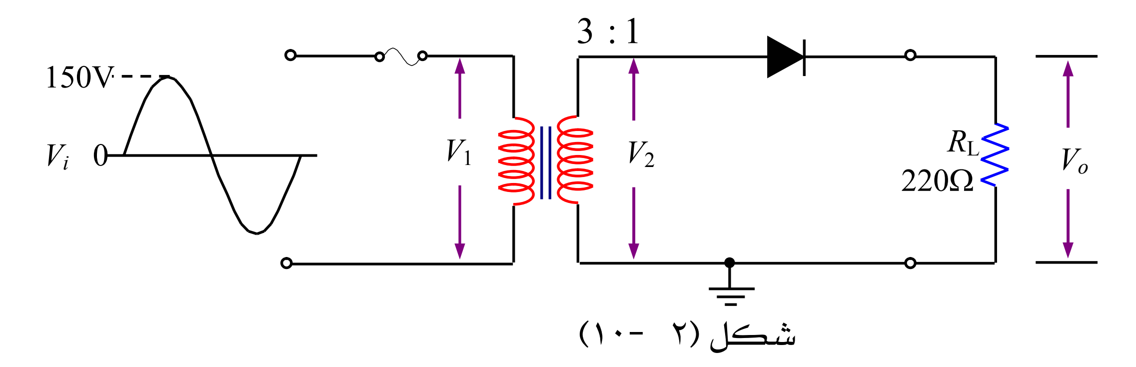
ومن المعادلة (٢ -٤) نلاحظ أنه في حالة زيادة عدد لفات الملف الثانوي عن عدد لفات الملف الابتدائي ($N_2 > N_1$) فإن الجهد على طرفي الملف الثانوي يكون أكبر من الجهد على طرفي الملف الابتدائي ($V_2 > V_1$)، وإذا كانت عدد لفات الملف الثانوي اقل من عدد لفات الملف الابتدائي ($N_2 < N_1$) فإن الجهد على طرفي الملف الثانوي يكون اقل من الجهد على طرفي الملف الابتدائي ($V_2 < V_1$). في حالة تساوي عدد لفات الملفين الثانوي والابتدائي ($N_2 = N_1$) فإن الجهد على طرفي الملفين يكون متساويا ($V_2 = V_1$).

وفي حالة اتصال موحد نصف الموجة بجهد الدخل عن طريق المحول فإن القيمة العظمى لجهد الخرج V_{Po} تساوي القيمة العظمى للجهد على طرفي الملف الثانوي V_{P2} مطروح منها قيمة الجهد الحائل للثنائي V_B ، أي أن:

$$VPo = VP2 - VB \qquad (٢ \; -٥)$$

مثال ٢ -٣:

حدد القيمة العظمى لجهد الخرج للدائرة المبينة بشكل (٢ -١٠).



شكل (٢ -١٠)

الحل:

القيمة العظمى للجهد على طرفي الملف الابتدائي V_{P1} تساوي:

$$V_{P1} = V_{Pi} = 150V$$

القيمة العظمى للجهد على طرفي الملف الثانوي V_{P2} تساوي:

$$V_{P2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)V_{P1} = \left(\frac{1}{3}\right)\times 150 = 50V$$

القيمة العظمى لجهد الخرج V_{Po} تساوي:

$$VPo = VP2 - VB = 50V - 0.7V = 49.3V$$

٢ -٤ موحدات الموجة الكاملة Full-Wave Rectifiers

بالرغم من أن موحد نصف الموجة له بعض التطبيقات إلا أن استخدام موحد الموجة الكاملة أكثر انتشارا في مصادر القدرة ذي التيار المستمر، والفرق بين توحيد الموجة الكاملة وتوحيد نصف الموجة هو أن موحد الموجة الكاملة يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد خلال الحمل على هيئة نبضات خلال نصفي موجة الدخل بينما يسمح موحد نصف الموجة بمرور التيار خلال النصف الموجب للموجة فقط، ونتيجة لذلك فإن تردد جهد الخرج في حالة توحيد الموجة الكاملة يساوي ضعف تردد جهد الدخل، حيث نحصل في الخرج على نبضة كاملة لكل نصف دورة لجهد الدخل كما هو موضح في شكل (٢ -١١).



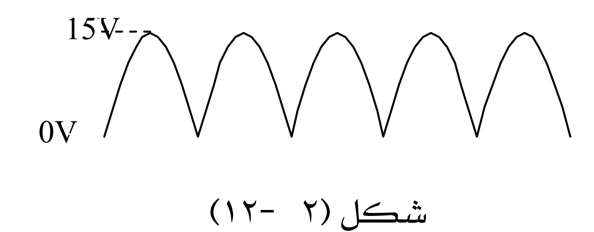
شكل (٢ -١٢) توحيد موجة كاملة.

وحيث إن عدد النبضات الموجبة التي نحصل عليها من خرج موحد الموجة الكاملة يساوي ضعف عدد النبضات الموجبة التي نحصل عليها من خرج موحد نصف الموجة خلال نفس الفترة الزمنية، فإن القيمة المتوسطة لجهد الخرج (V_{ave}) في حالة موحد الموجة الكاملة تساوي ضعف القيمة التي نحصل عليها في حالة موحد نصف الموجة كما هو موضح بالعلاقة الآتية:

$$V_{ave} = \frac{2V_{Po}}{\pi} \qquad (٢ -٦)$$

مثال ٢ -٤:

أوجد القيمة المتوسطة (V_{ave}) للجهد الموحد موجة كاملة المبين في شكل (٢ -١٢).



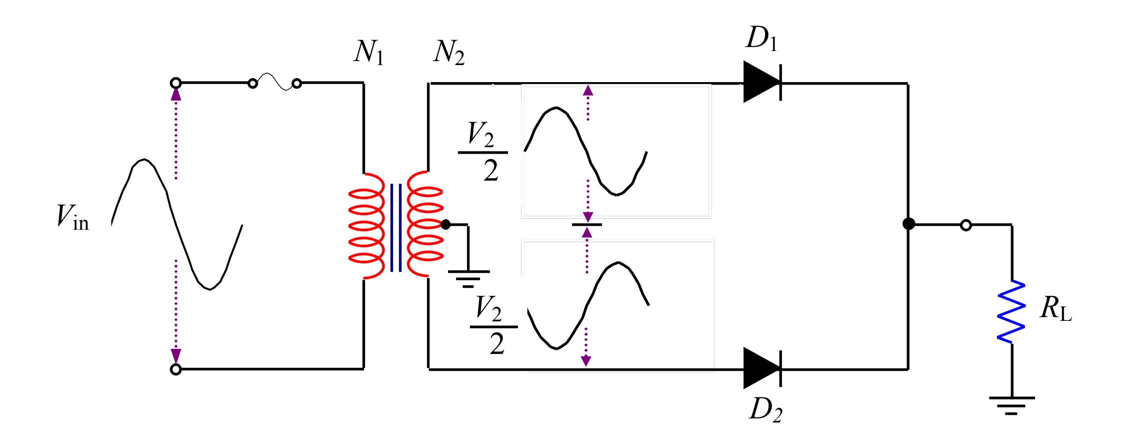
شكل (٢ -١٢)

الحل:

$$V_{ave} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2(15\text{V})}{3.14} = 9.55\text{V}$$

٢ -٤ -١ موحد موجة كاملة متصل بمحول ذو نقطة متوسطة
The Full-Wave Center-Tapped Rectifier

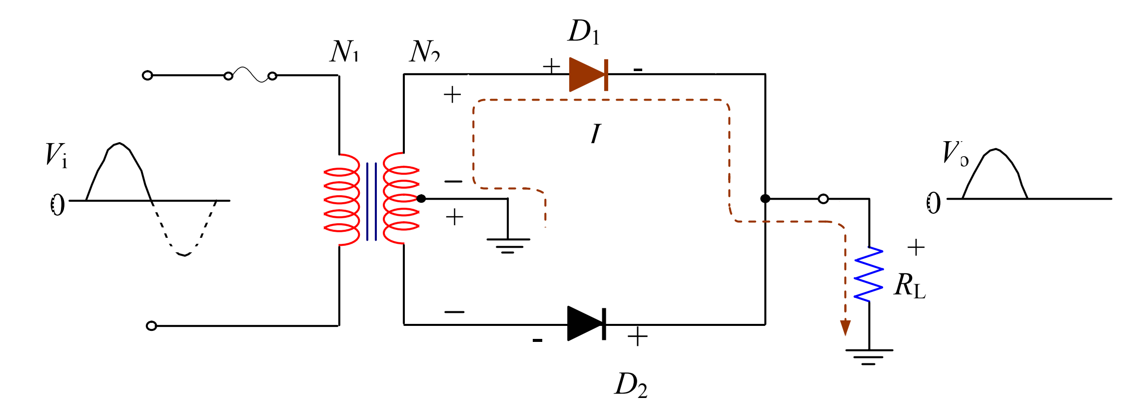
شكل (٢ -١٣) يبين موحد موجة كاملة متصل بمحول ذي نقطة متوسطة حيث قيمة الجهد بين هذه النقطة وكل طرف من طرفي الملف الثانوي، المتصل بكل من الثنائي D_1 والثنائي D_2 ، تساوي نصف القيمة الكلية للجهد على طرفي الملف الثانوي.



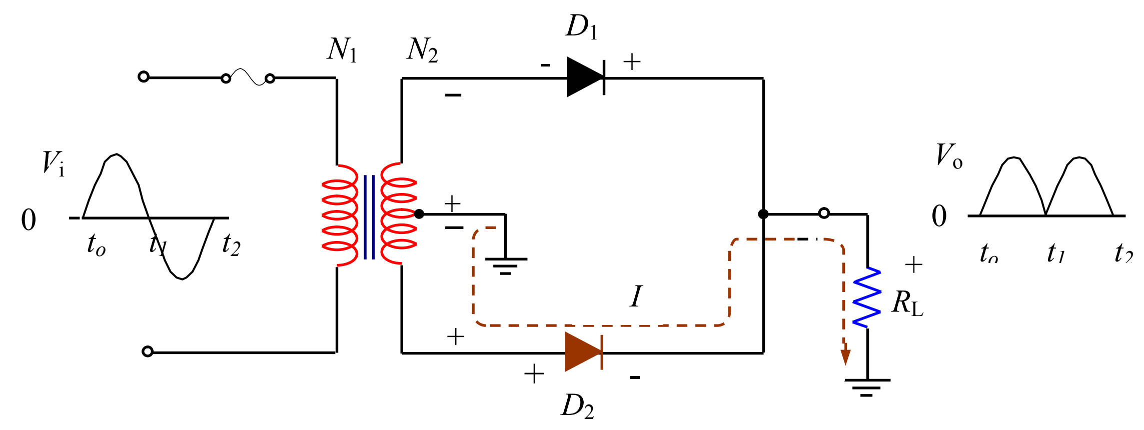
شكل (٢ -١٣) دائرة موحد موجة كاملة متصل بمحول ذي نقطة متوسطة.

خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل تكون قطبية الجهد على أطراف الملف الثانوي كالمبينة بشكل (٢ -١٤أ) حيث يكون جهد النقطة المتوسطة للملف الثانوي موجب بالنسبة للطرف الأعلى للملف وسالب بالنسبة للطرف الأسفل له، وبالتالي يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز أمامي والثنائي D_2 في حالة انحياز عكسي ولذا يمر التيار عبر الثنائي D_1 إلى الحمل.

أما خلال النصف السالب لموجة جهد الدخل فإن قطبية الجهد على أطراف الملف الثانوي سوف تنعكس ليصبح جهد النقطة المتوسطة للملف الثانوي سالب بالنسبة لطرفه الأعلى وموجب بالنسبة لطرفه الأسفل كما هو مبين بشكل (٢ -١٤ب) وبالتالي يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز عكسي والثنائي D_2 في حالة انحياز أمامي ويمر التيار إلى الحمل خلال الثنائي D_2.



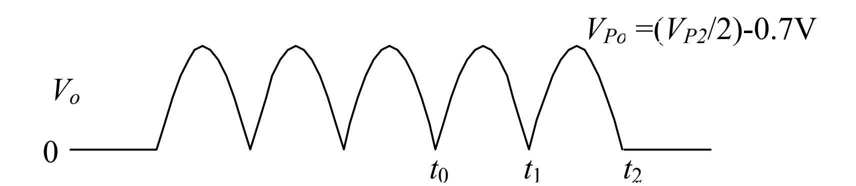
شكل (٢ -١٤أ) عملية التوحيد خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل.



شكل (٢ -١٤ب) عملية التوحيد خلال النصف السالب لموجة جهد الدخل.

شكل (٢ -١٤) عملية التوحيد باستخدام موحد موجة كاملة متصل بمحول ذو نقطة

وحيث إن التيار المار في الحمل يكون في اتجاه واحد خلال نصفي الموجة لجهد الدخل فإن الجهد الناشئ على طرفي الحمل يكون موحد الاتجاه لموجة كاملة هو مبين بشكل (٢ -١٥).

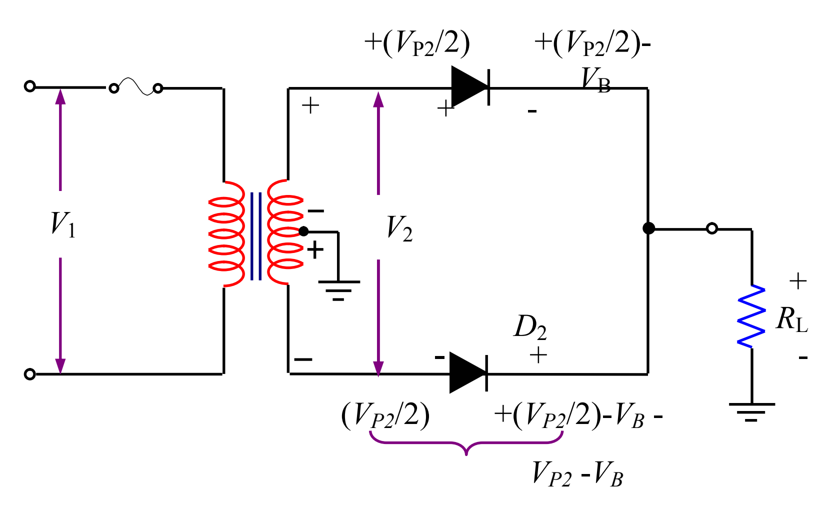


شكل (٢ -١٥) جهد الخرج لموحد الموجة الكاملة ذو النقطة المتوسطة.

وقيمة جهد الخرج لموحد الموجة الكاملة ذي النقطة المتوسطة التي تساوي نصف قيمة الجهد الكلي على طرفي الملف الثانوي مطروح منها قيمة الجهد الحائل للثنائي، أي أن:

$$V_o = \frac{V_2}{2} - V_B \qquad (٢ -٧)$$

الجهد العكسي الأقصى: عندما تكون قطبية أطراف الملف الثانوي كالمبينة بشكل (٢ -١٦) فإن الثنائي D_1 يكون في حالة انحياز أمامي بينما الثنائي D_2 في حالة انحياز عكسي، ويمكن إيجاد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائي D_2 بإيجاد الفارق بين القيمة العظمى لجهد المهبط والقيمة العظمى لجهد المصعد.



شكل (٢ -١٦) تحديد الجهد العكسي الأقصى.

وحيث إن القيمة العظمى لجهد المهبط للثنائي D_2 تساوي $(V_{P2}/2) - V_B$ والقيمة العظمى لجهد المصعد تساوي $-V_{P2}/2$، فإن الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائي في دائرة موحد موجة كاملة متصل بمحول ذي نقطة متوسطة يمكن تمثيله بالعلاقة الآتية:

$$PIV = \left[\frac{V_{P2}}{2} - V_B\right] - \left[-\frac{V_{P2}}{2}\right]$$

$$= V_{P2} - V_B$$

$$\because V_{Po} = \frac{V_{p2}}{2} - V_B$$

$$\therefore V_{P2} = 2V_{Po} + 2V_B$$

وبالتالي فإن الجهد العكسي الأقصى يمكن تمثيله بالعلاقة الآتية:

$$PIV = 2V_{Po} + V_B \qquad (٢-٨)$$

مثال٢-٥:

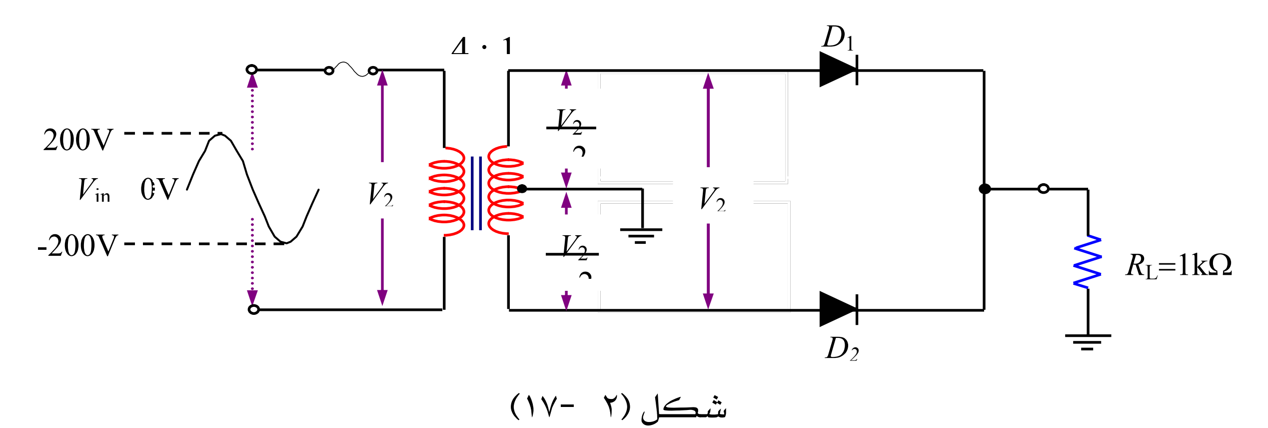
بالنسبة للدائرة المبينة بشكل (٢-١٧):

١ - أوجد القيمة العظمى للجهد على الملف الثانوي.

٢ - أوجد القيمة العظمى للجهد على كل نصف من نصفي الملف الثانوي.

٣ - وضح شكل إشارة الجهد على المقاومة R_L.

٤ - حدد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) لكل ثنائي.



شكل (٢-١٧)

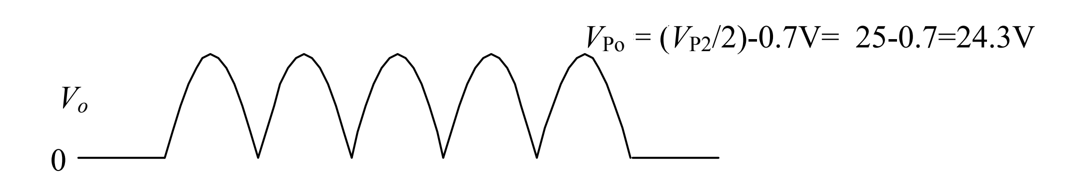
الحل:

١. القيمة العظمى للجهد على الملف الثانوي (V_{P2}) تساوي:

$$V_{P2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) V_{P1} = \left(\frac{1}{4}\right) \times 200 = 50\text{V}$$

٢. القيمة العظمى للجهد على كل نصف من نصفي الملف الثانوي ($V_{P2}/2$) تساوي:

$$(V_{P2}/2) = 25\text{V}$$



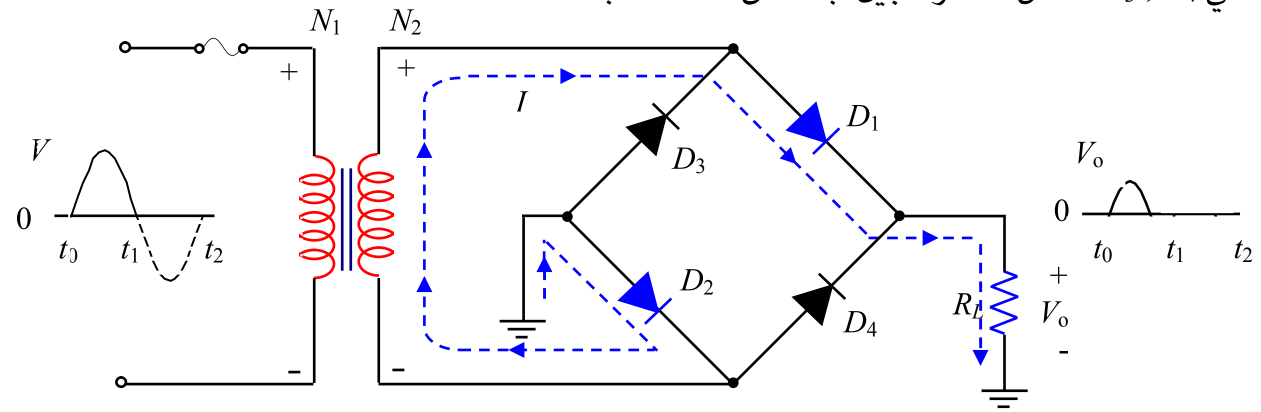
٣. الجهد العكسي الأقصى يساوي:

$$PIV = 2V_{Po} + V_B = (2 \times 24.3) + 0.7 = 49.3\text{V}$$

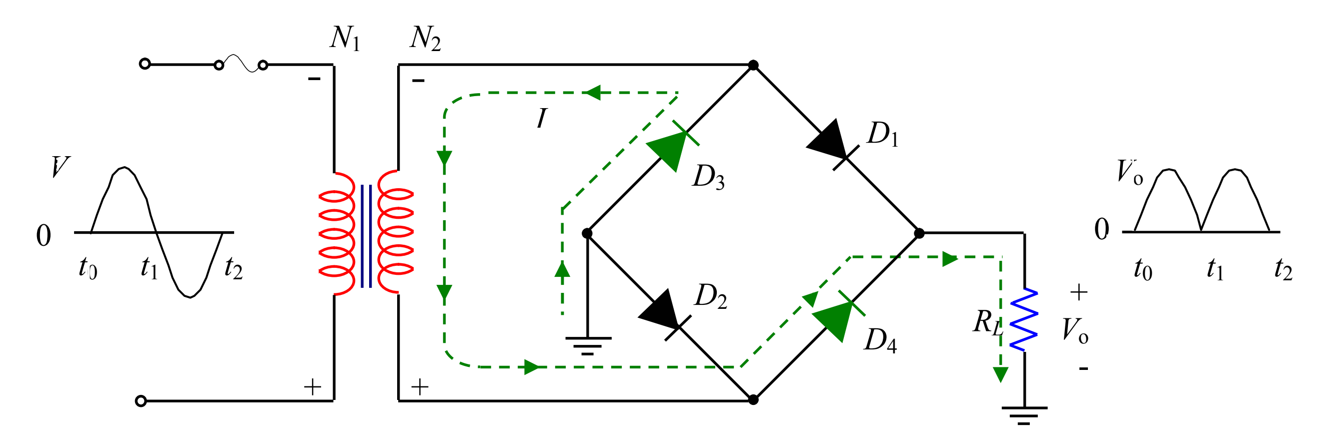
٢ -٤ -٢ موحد موجة كاملة باستخدام القنطرة The Full-Wave Bridge Rectifier

في هذا النوع يتم استخدام أربعة ثنائيات موصلة كما في شكل (٢ -١٨). خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل يكون كل من الثنائي D_1 , D_2 في حالة انحياز أمامي بينما يكون كل من الثنائي D_3 , D_4 في حالة انحياز عكسي، ولذا يمر التيار إلى الحمل عبر كل من الثنائي D_2, D_1 خلال المسار المبين بشكل (٢ -١٨أ).

خلال النصف السالب لموجة جهد الدخل يصبح كل من الثنائي D_1 , D_2 في حالة انحياز عكسي بينما كل من الثنائي D_3 , D_4 في حالة انحياز أمامي، ويمر التيار إلى الحمل عبر الثنائي عبر كل من الثنائي D_4, D_3 خلال المسار المبين بشكل (٢ -١٨ب).



شكل (٢ -١٨أ) عملية التوحيد خلال النصف الموجب لموجة جهد الدخل.



شكل (٢ -١٨ب) عملية التوحيد خلال النصف السالب لموجة جهد الدخل.

شكل (٢ -١٨) عملية توحيد موجة كاملة باستخدام القنطرة.

وبالرجوع إلى شكل (٢ -١٨) نلاحظ أن التيار المار في الحمل يكون في اتجاه واحد خلال نصفي الموجة لجهد الدخل وبالتالي فإن الجهد الناشئ على طرفي الحمل يكون موحد الاتجاه لموجة كاملة.

ونظراً لوجود ثنائيان (D_1 , D_2 أو D_3 , D_4) في حالة انحياز أمامي وموصلين على التوالي مع الحمل خلال نصفي موجة جهد الدخل، فإن قيمة جهد الخرج تساوي:

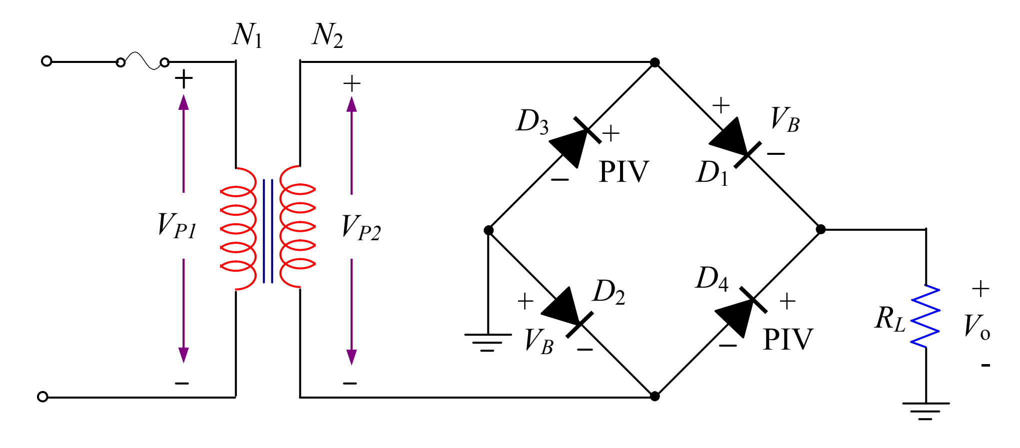
$$V_o = V_2 - 2V_B \qquad (٢ -٩)$$

حيث:

$V_B = 0.7V$ في حالة الثنائي السيليكوني و $V_B = 0$ في حالة الثنائي المثالي.

الجهد العكسي الأقصى: عندما يكون جهد موجة الدخل موجب فإن كل من الثنائي D_1 , D_2 يكونا في حالة انحياز أمامي بينما يكون كل من الثنائي D_3 , D_4 في حالة انحياز عكسي. يمكن إيجاد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائي D_3 أو الثنائي D_4 بإيجاد الفارق بين القيمة العظمى لجهد المهبط والقيمة العظمى لجهد المصعد كما هو مبين بشكل (٢ -١٩)، وبالتالي فإن الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائي في دائرة موحد موجة كاملة باستخدام القنطرة يمكن تمثيله بالعلاقة الآتية:

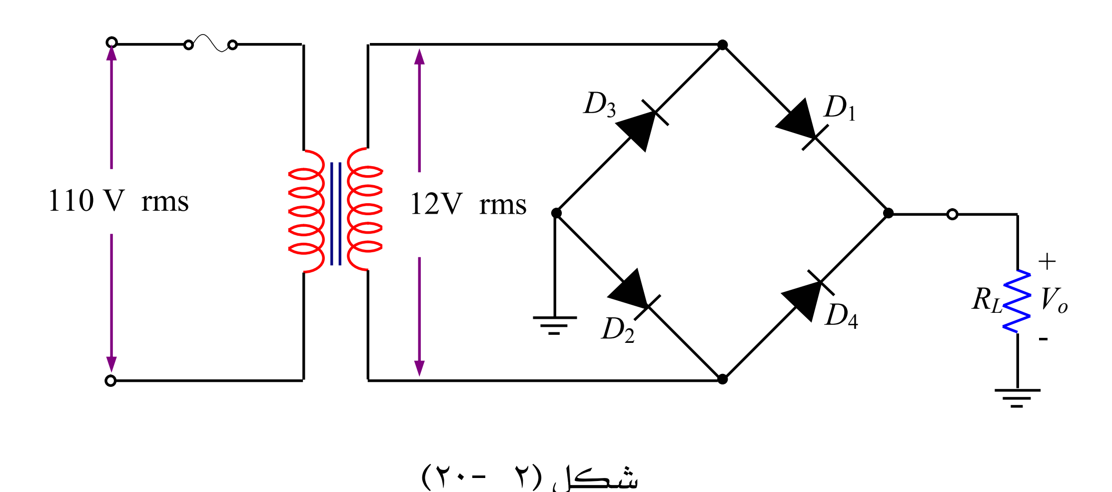
$$PIV = V_{Po} + V_B \qquad (٢ -١٠)$$



شكل (٢ -١٩) تحديد الجهد العكسي الأقصى.

مثال (2-6):

حدد القيمة العظمى لجهد الخرج للدائرة المبينة بشكل (٢ -٢٠) وكذلك قيمة الجهد العكسي الأقصى لثنائيات السيليكون المستخدمة.



شكل (٢ -٢٠)

الحل:

القيمة العظمى للجهد على الملف الثانوي (V_{P2}) تساوي:

$$V_{P2} = \sqrt{2}\, V_{rms} = 1.414 \times 12\text{V} \cong 17\text{V}$$

القيمة العظمى لجهد الخرج (V_{Po}) تساوي:

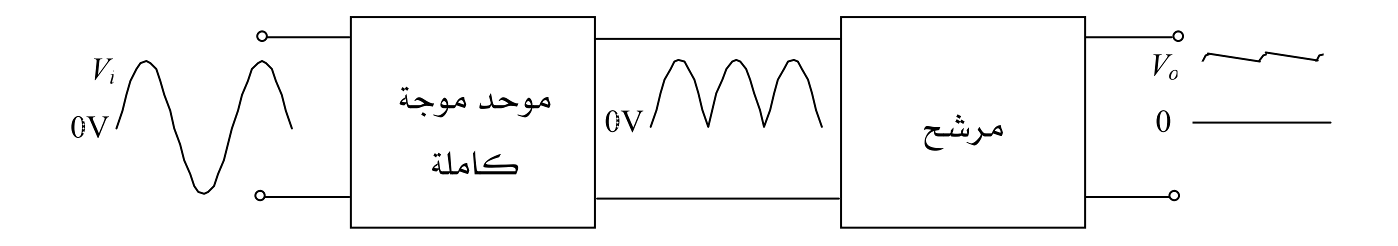
$$V_{Po} = V_{P2} - 2V_B = 17\text{V} - (2 \times 0.7\text{V}) = 15.6\text{V}$$

الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائي يساوي:

$$PIV = V_{Po} + V_B = 15.6\text{V} + 0.7\text{V} = 16.3V$$

٢ -٥ المرشحات Filters

علمنا من الجزء السابق أن خرج دوائر التوحيد عبارة عن جهد موحد الاتجاه متغير القيمة في صورة نبضات، ولتقليل قيمة التموجات في الجهد فإننا نستخدم بعض أنواع من المرشحات التي تطبق على خرج دوائر التوحيد، كما هو مبين في شكل (٢ -٢١) ، حيث تقوم هذه المرشحات بعملية تنعيم للجهد وذلك للحصول على قيمة شبه ثابتة.

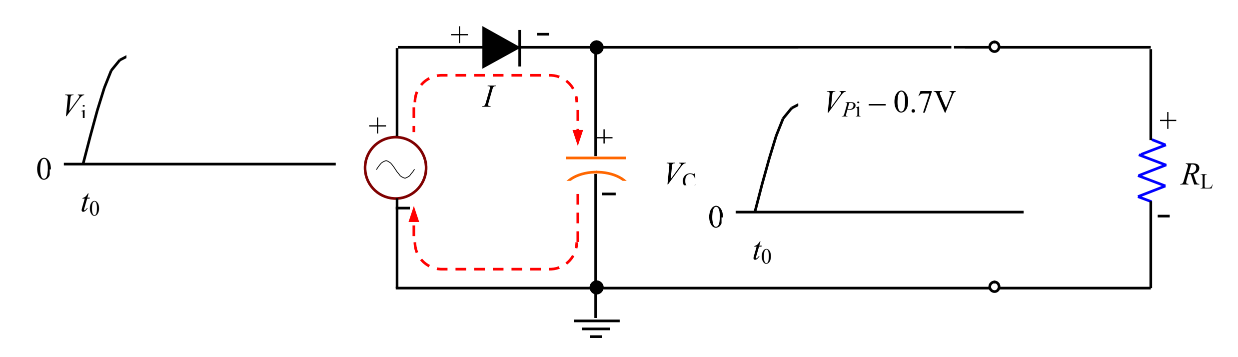


شكل (٢ -٢١) عملية الترشيح لخرج دوائر التوحيد.

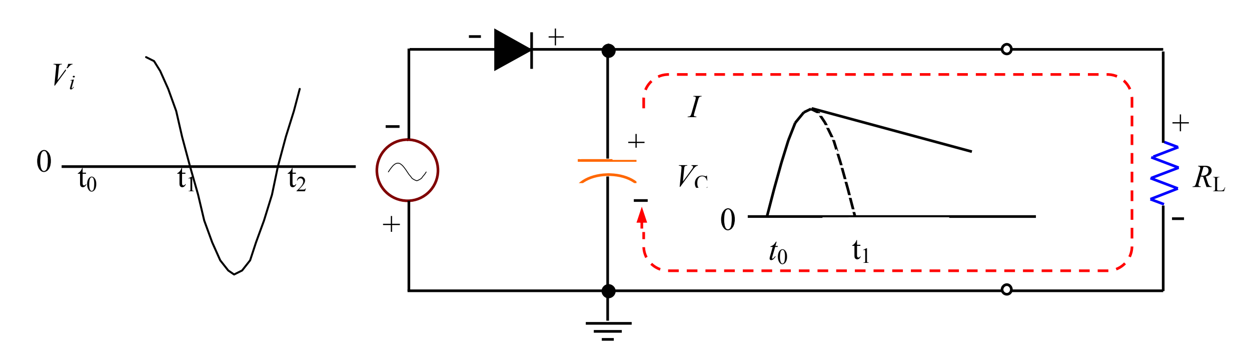
٢ -٥ -١ دائرة الترشيح باستخدام المكثف Capacitor Filter

شكل (٢ -٢٢) يبين لنا كيفية تنعيم إشارة الخرج لموحد نصف موجة باستخدام مكثف. خلال الربع الأول الموجب لدورة جهد الدخل يكون الثنائي في حالة انحياز أمامي ويسمح بمرور التيار الذي يشحن المكثف، ومع زيادة قيمة جهد الدخل يزداد الجهد على طرفي المكثف وعند القيمة العظمى لجهد الدخل تصل قيمة الجهد على طرفي المكثف إلى القيمة العظمى لجهد الدخل مطروح منها قيمة الفقد على طرفي الثنائي (0.7V في حالة الثنائي السيليكوني) كما هو مبين في شكل (٢ -٢٢أ).

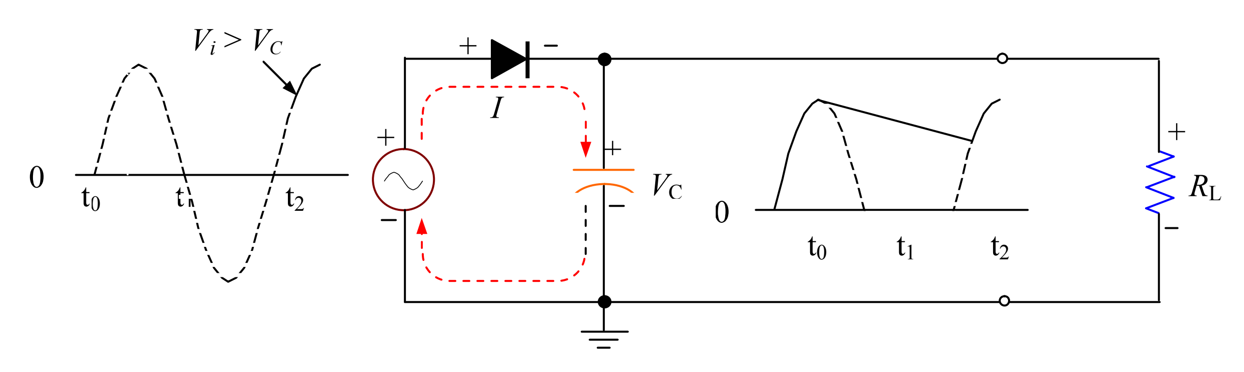
خلال الربع الثاني للموجة يبدأ جهد الدخل في الانخفاض وبالتالي يقل جهد المصعد للثنائي عن جهد المهبط ويصبح الثنائي في حالة انحياز عكسي، فيبدأ المكثف بتفريغ شحنته خلال الحمل، كما هو موضح في شكل (٢ -٢٢ب) ويتحدد معدل تفريغ المكثف بقيمة ثابت الزمن (The time constant) والتي تساوي حاصل ضرب قيمة سعة المكثف C في قيمة مقاومة الحمل R_L ، وغالبا ما يكون ثابت الزمن أطول من زمن الدورة لجهد الدخل وذلك حتى يفقد المكثف اقل كمية من الشحنة أثناء عملية التفريغ، وتستمر عملية التفريغ إلى أن تبدأ الدورة الثانية ويبدأ جهد الدخل في الزيادة مرة أخرى حتى يصل إلى قيمة أعلى من جهد المكثف بمقدار الجهد الحائل، فيصبح الثنائي في حالة انحياز أمامي ويشحن المكثف لتعويض الشحنة التي فقدها أثناء عملية التفريغ كما هو مبين بشكل (٢ -٢٢جـ).



شكل (٢ -٢٢أ) الشحن المبدئي للمكثف خلال الربع الأول الموجب لدورة جهد الدخل.



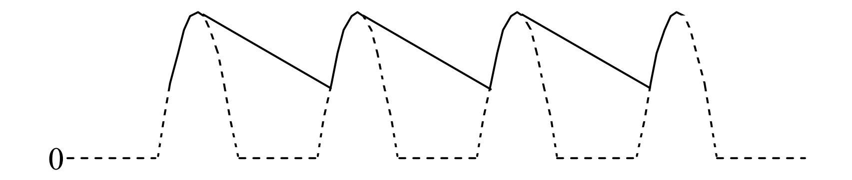
شكل (٢ -٢٢ب) تفريغ المكثف لشحنته خلال الحمل.



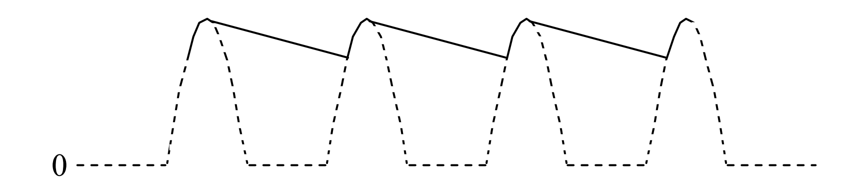
شكل (٢ -٢٢جـ) شحن المكثف لتعويض الشحنة التي فقدها أثناء عملية التفريغ.

شكل (٢ -٢٢) كيفية تنعيم إشارة الخرج لموحد نصف موجة باستخدام مكثف.

ويطلق على التغير في جهد المكثف نتيجة لعملية الشحن والتفريغ بجهد التموج (ripple voltage) وحيث إن الهدف من عملية التنعيم هو تقليل التموجات في جهد الخرج فإن كفاءة عملية الترشيح تعتمد على مدى إمكانية المرشح في تقليل قيمة جهد التموج كما هو مبين بشكل (٢ -٢٣).



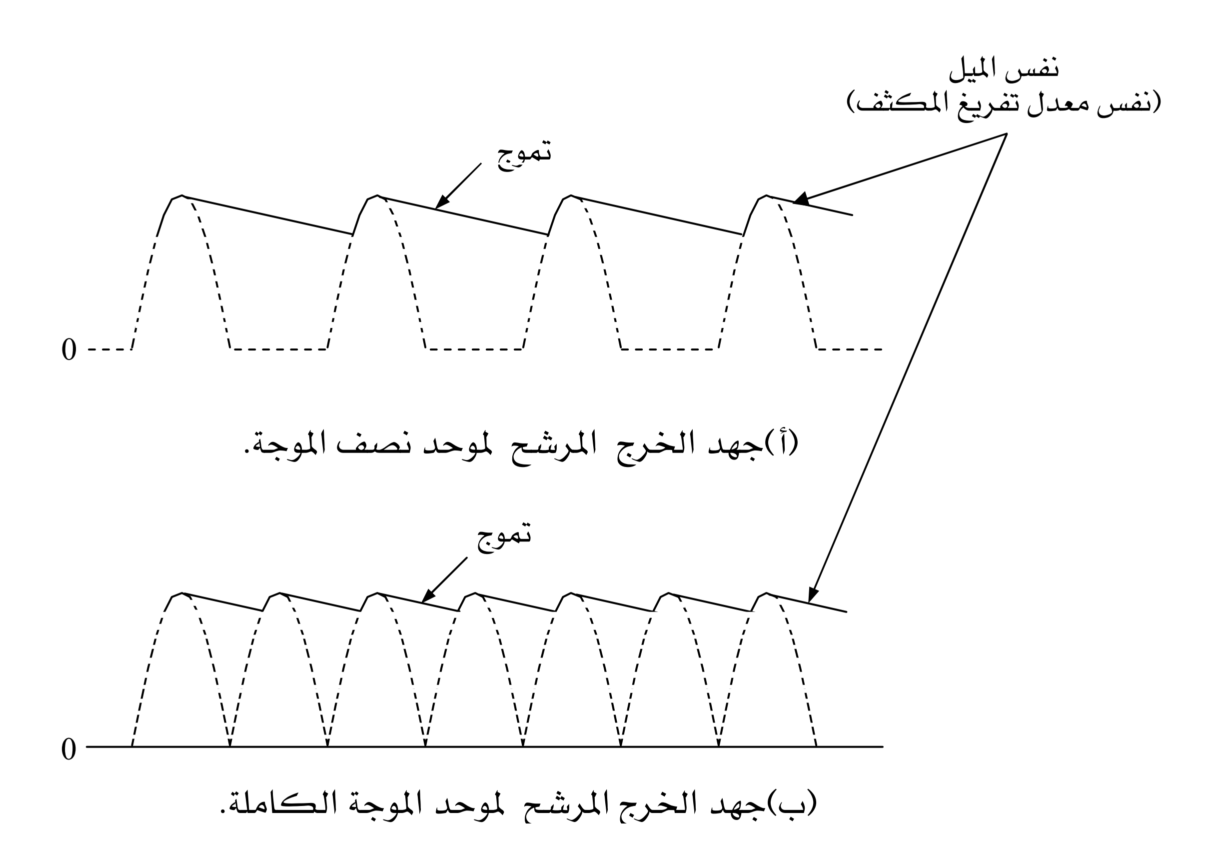
شكل (٢ -٢٣أ) التموجات الكبيرة تعني التأثير القليل لعملية الترشيح.



شكل (٢ -٢٣ب) التموجات الصغيرة تعني التأثير الكبير لعملية الترشيح.

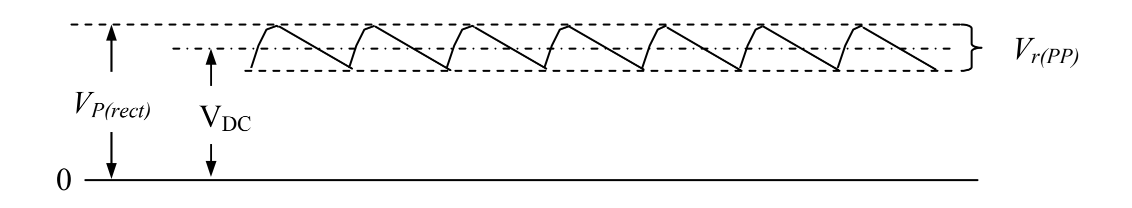
نظراً لأن تردد جهد الخرج لموحد الموجة الكاملة (f_{fw}) يساوي ضعف تردد جهد الخرج لموحد نصف الموجة (f_{hw}) لنفس إشارة الدخل، كما هو موضح في شكل (٢ -٢٤)، فإن عملية التنعيم لجهد الخرج لموحد الموجة الكاملة تكون أسهل من تنعيم جهد الخرج لموحد نصف الموجة وذلك لقصر الوقت بين كل قمتين متتاليتين لجهد الخرج لموحد الموجة الكاملة، وبالتالي قلة ما يفقده المكثف من شحنة أثناء عملية التفريغ ونتيجة لذلك فإن نسبة التموجات في جهد الخرج المرشح لموحد الموجة الكاملة تكون أقل من نسبة التموجات في جهد الخرج المرشح لموحد نصف الموجة.

ويبين لنا شكل (٢ -٢٥) مقارنة بين نسبة التموجات في جهد الخرج المرشح لموحد نصف الموجة وموحد الموجة الكاملة وذلك لنفس إشارة الدخل وسعة المكثف ومقاومة الحمل.



شكل (٢ -٢٥) مقارنة بين نسبة التموجات في جهد الخرج المرشح لموحد نصف الموجة وموحد الموجة الكاملة.

معامل التموج (ripple factor): يتكون جهد الخرج المرشح من مركبتين مركبة الجهد المستمر (dc voltage) ومركبة الجهد المتغير أو جهد التموج (ripple voltage) كما هو مبين بشكل (٢ -٢٦).



شكل (٢ -٢٦) مركبة جهد التموج ومركبة التيار المستمر لجهد الخرج

ويعرف معامل التموج (ripple factor) بأنه النسبة بين جهد التموجات والجهد المستمر وهو يعتبر مؤشر لمدى كفاءة المرشح المستخدم ويمكن تمثيله بالعلاقة الآتية:

$$r = \frac{V_{r(PP)}}{V_{DC}} \qquad (٢ \quad -١١)$$

حيث:-

r = معامل التموج

$V_{r(PP)}$ = قيمة جهد التموجات مقاس من القمة إلى القمة

V_{DC} = قيمة الجهد المستمر (القيمة المتوسطة لجهد الخرج للمرشح)

ومن خلال المعادلة (٢ -١١) نلاحظ أن قلة قيمة معامل التموج تعني تحسن أداء المرشح ويمكن تقليل قيمة معامل التموج بزيادة سعة المكثف أو بزيادة مقاومة الحمل.

ويمكن حساب القيمة التقريبية لجهد التموجات $V_{r(PP)}$ والقيمة التقريبية للجهد المستمر V_{DC} من خلال العلاقات الآتية:

$$V_{r(PP)} = \left(\frac{1}{fR_L C}\right) V_{P(rect)} \qquad (٢ \quad -١٢)$$

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{2fR_L C}\right) V_{P(rect)} \qquad (٢ \quad -١٣)$$

حيث :-

f = تردد جهد الخرج الموحد (Hz)

R_L = قيمة مقاومة الحمل (Ω)

C = قيمة سعة المكثف (F)

$V_{P(rect)}$ = القيمة العظمى لجهد الخرج الموحد (V)

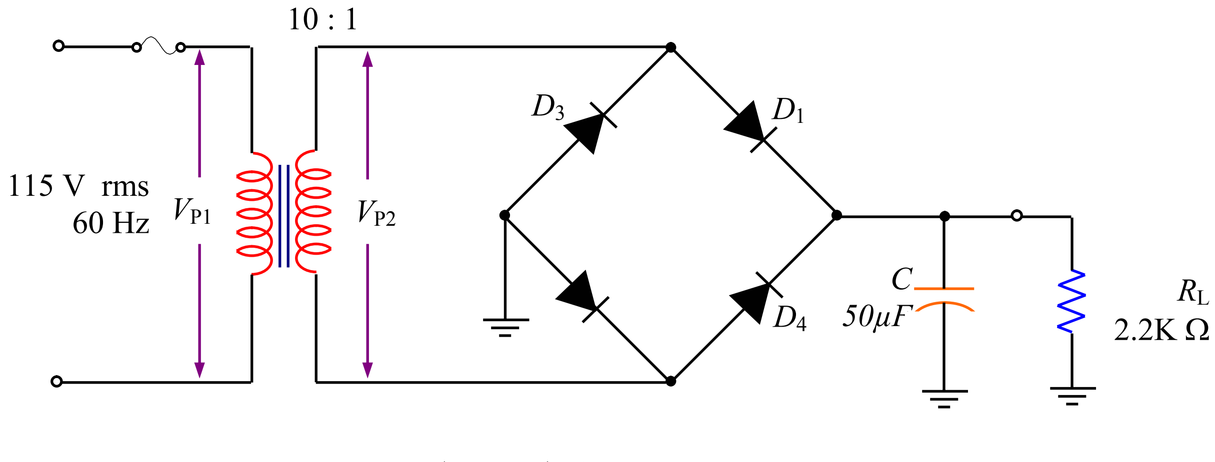
مثال ٢ -٧:

حدد معامل التموج بالنسبة للدائرة المبينة بشكل (٢ -٢٧).

الحل:

القيمة العظمى للجهد على طرفي الملف الابتدائي V_{P1} تساوي:

$$V_{P1} = \sqrt{2}V_{rms} = (1.414)(15)\text{V} = 163\text{V}$$



شكل (٢ -٢٧)

القيمة العظمى للجهد على طرفي الملف الثانوي V_{P2} تساوي:

$$V_{P2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)V_{P1} = \left(\frac{1}{10}\right)163\text{V} = 16.3\text{V}$$

القيمة العظمى لجهد الخرج لموحد القنطرة $V_{P(rect)}$ تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_{P(rect)} = V_{P2} - 1.4\text{V} = 16.3\text{V} - 1.4\text{V} = 14.9\text{V}$$

ومع ملاحظة أن تردد جهد الخرج لموحد الموجة الكاملة يساوي ضعف تردد جهد الدخل، فإن القيمة التقريبية لجهد التموج من القمة إلى القمة $V_{r(PP)}$ تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_{r(PP)} = \left(\frac{1}{fR_LC}\right)V_{P(rect)} = \left(\frac{1}{(120\text{Hz})(2.2\text{K}\Omega)(50\mu\text{F})}\right)14.9\text{V} = 1.13\text{V}$$

وحيث إن القيمة التقريبية لمركبة الجهد المستمر V_{DC} في الخرج تساوي:

$$V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{2fR_LC}\right)V_{P(rect)} = \left(1 - \frac{1}{2(120\text{Hz})(2.2\text{K}\Omega)(50\mu\text{F})}\right)14.9\text{V} = 14.3\text{V}$$

فإن معامل التموج يكون:

$$r = \frac{V_{r(PP)}}{V_{DC}} = \frac{1.13\text{V}}{14.3\text{V}} = 0.079$$

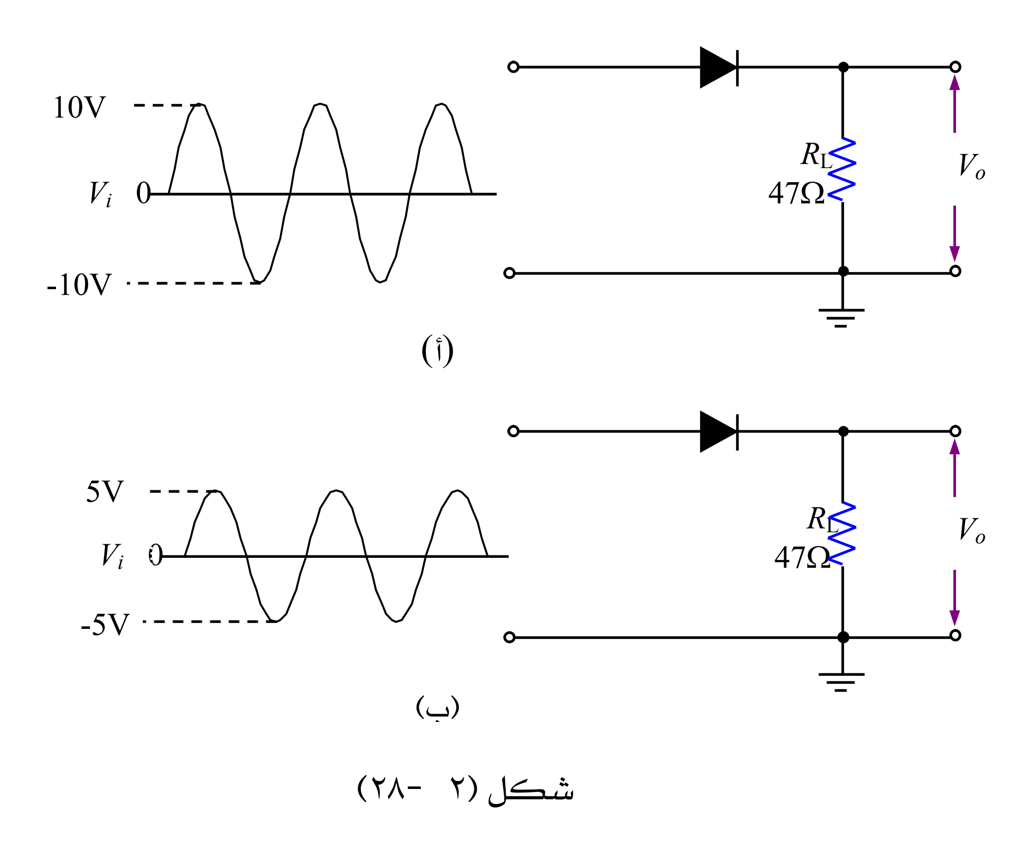
أي أن نسبة التموج تساوي 7.9%.

أسئلة وتمارين على الوحدة الثانية

٢ -١ ارسم المخطط الصندوقي لمصدر القدرة ذي التيار المستمر مع توضيح إشارة الخرج لكل مرحلة.

٢ -٢ اذكر أنواع دوائر التوحيد.

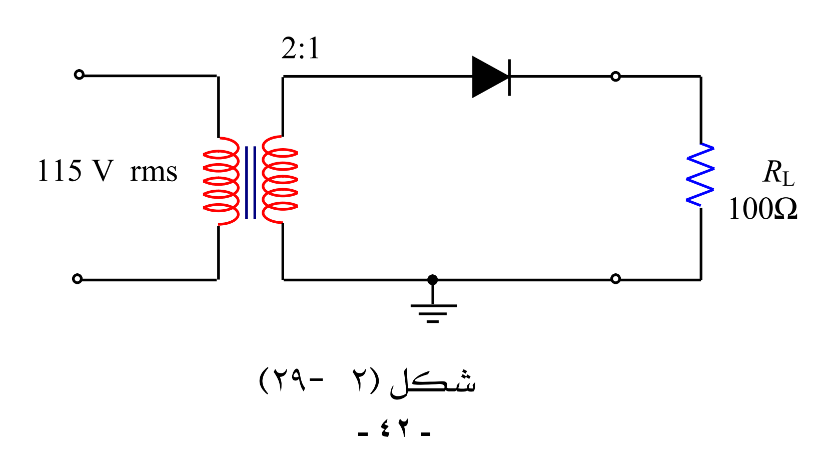
٢ -٣ ارسم جهد الخرج لكل من الدوائر المبينة بشكل (٢ -٢٨) موضحا قيمة الجهد.



شكل (٢ -٢٨)

٢ -٤ حدد القيمة العظمى للتيار الأمامي المار خلال كل ثنائي في الدوائر المبينة بشكل (٢ -٢٨)

٢ -٥ حدد القيمة العظمى والقيمة المتوسطة لجهد الخرج للدائرة المبينة بشكل (٢ -٢٩)



شكل (٢ -٢٩)

٢ -٦ بالنسبة للدائرة المبينة بشكل (٢ -٣٠):

(١) حدد نوع هذه الدائرة

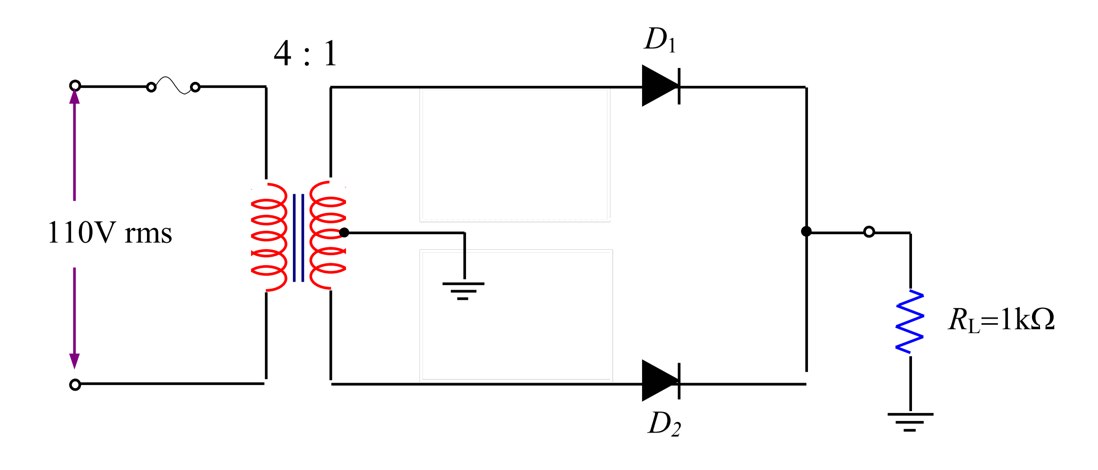
(٢) أوجد القيمة العظمى للجهد على الملف الثانوي.

(٣) أوجد القيمة العظمى للجهد على كل نصف من نصفي الملف الثانوي.

(٤) وضح شكل إشارة الجهد على المقاومة R_L.

(٥) أوجد القيمة العظمى للتيار المار خلال كل ثنائي.

(٦) حدد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) لكل ثنائي.



شكل (٢ -٣٠)

٢ -٧ أوجد القيمة العظمى للجهد على كل نصف من نصفي الملف الثانوي للمحول ذي النقطة المتوسطة المستخدم في موحد الموجة الكاملة إذا كانت القيمة المتوسطة لجهد الخرج تساوي 120V.

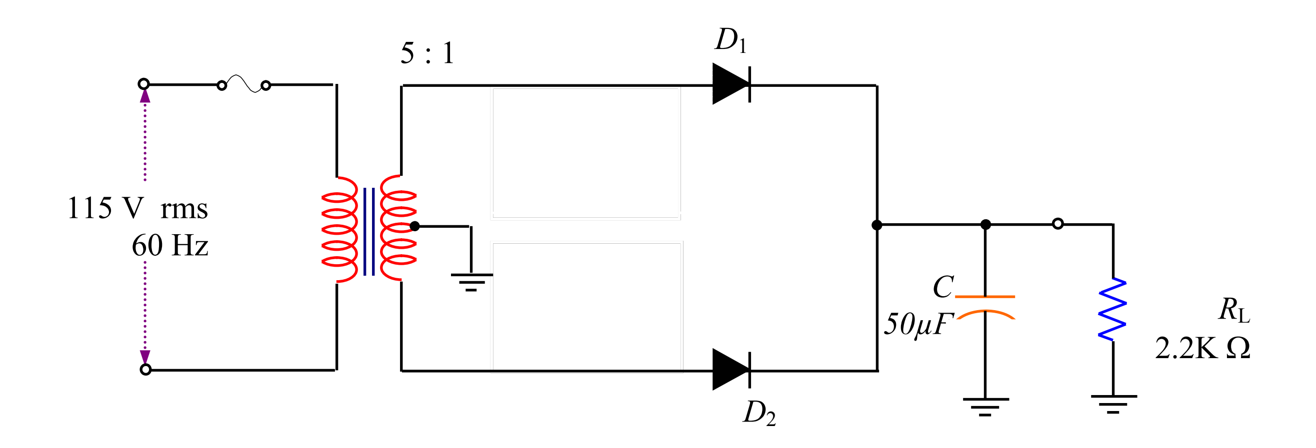
٢ -٨ ما هو عيب دائرة التوحيد لموجة كاملة باستخدام محول ذي نقطة متوسطة.

٢ -٩ أشرح مع الرسم دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام القنطرة.

٢ -١٠ حدد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائيات المستخدمة في موحد القنطرة إذا كانت القيمة المتوسطة لجهد الخرج تساوي 50V.

٢ -١١ إذا كانت القيمة الفعالة (rms) لجهد الخرج لموحد القنطرة تساوي 20V، أوجد قيمة الجهد العكسي الأقصى (PIV) للثنائيات المستخدمة.

٢ -١٢ حدد معامل التموج بالنسبة للدائرة المبينة بشكل (٢ -٣١).

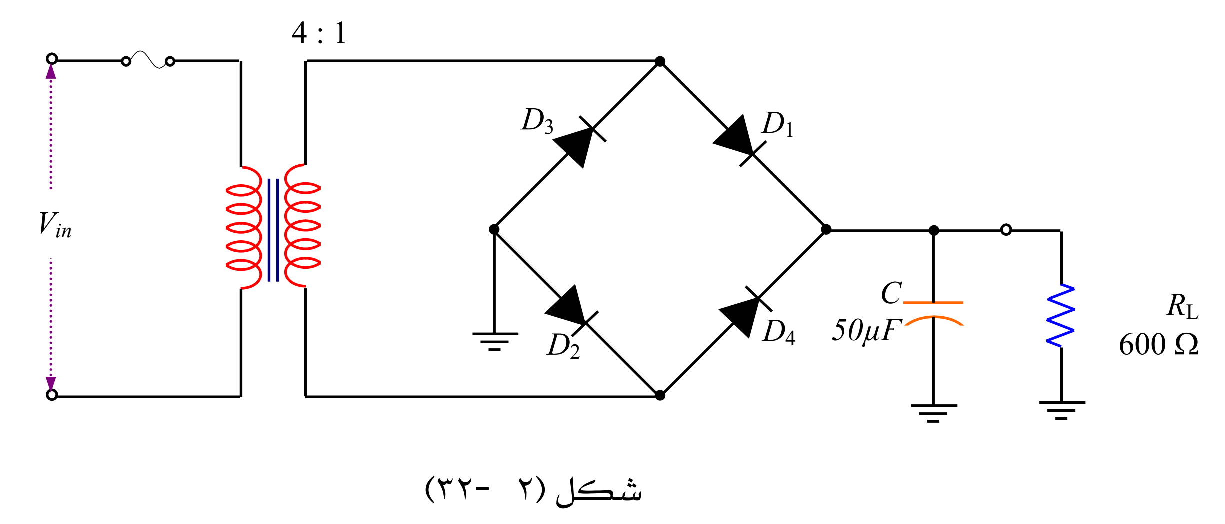


شكل (٢ -)

٢ -١٣ إذا كانت القيمة العظمى لجهد الخرج للدائرة المبينة بشكل (٢ -٣٢) تساوي 30V، أوجد:

(١) القيمة العظمى لجهد الدخل

(٢) معامل التموج.



شكل (٢ -٣٢)

ثنائي زينر

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة الفرق بين ثنائي زينر والثنائي العادي.
- معرفة خصائص ثنائي زينر.
- معرفة الدائرة المكافئة لثنائي زينر.
- معرفة دوائر تنظيم الجهد بواسطة ثنائي زينر.

٣ -١مقدمة Introduction

علمنا من خلال دراستنا للثنائي في حالة الانحياز العكسي أن قيمة التيار المار به تكون صغيرة للغاية وذلك لأن مقاومة الثنائي تكون عالية جداً، وهذا التيار العكسي يبقى ثابتا مع زيادة الجهد العكسي إلى قيم كبيرة وعند زيادة الجهد العكسي إلى قيمة معينة (وهذه القيمة تختلف حسب نوع الثنائي)فإن التيار العكسي يزداد فجأة، ويرجع ذلك إلى زيادة شدة المجال الكهربائي في منطقة الاستنزاف بحيث يتم توليد أزواج جديدة من الإلكترونات -الفجوات نتيجة لتأثير هذا المجال، ويطلق على الجهد الذي يحدث عنده انهيار لمقاومة الثنائي وازدياد مفاجئ للتيار بجهد الانهيار (Breakdown Voltage) وتؤدي حالة الانهيار هذه في الثنائيات العادية إلى تلف الثنائي بسبب ارتفاع درجة الحرارة نتيجة لازدياد شدة التيار المار فيه.

٣ -٢ثنائي زينر Zener Diode

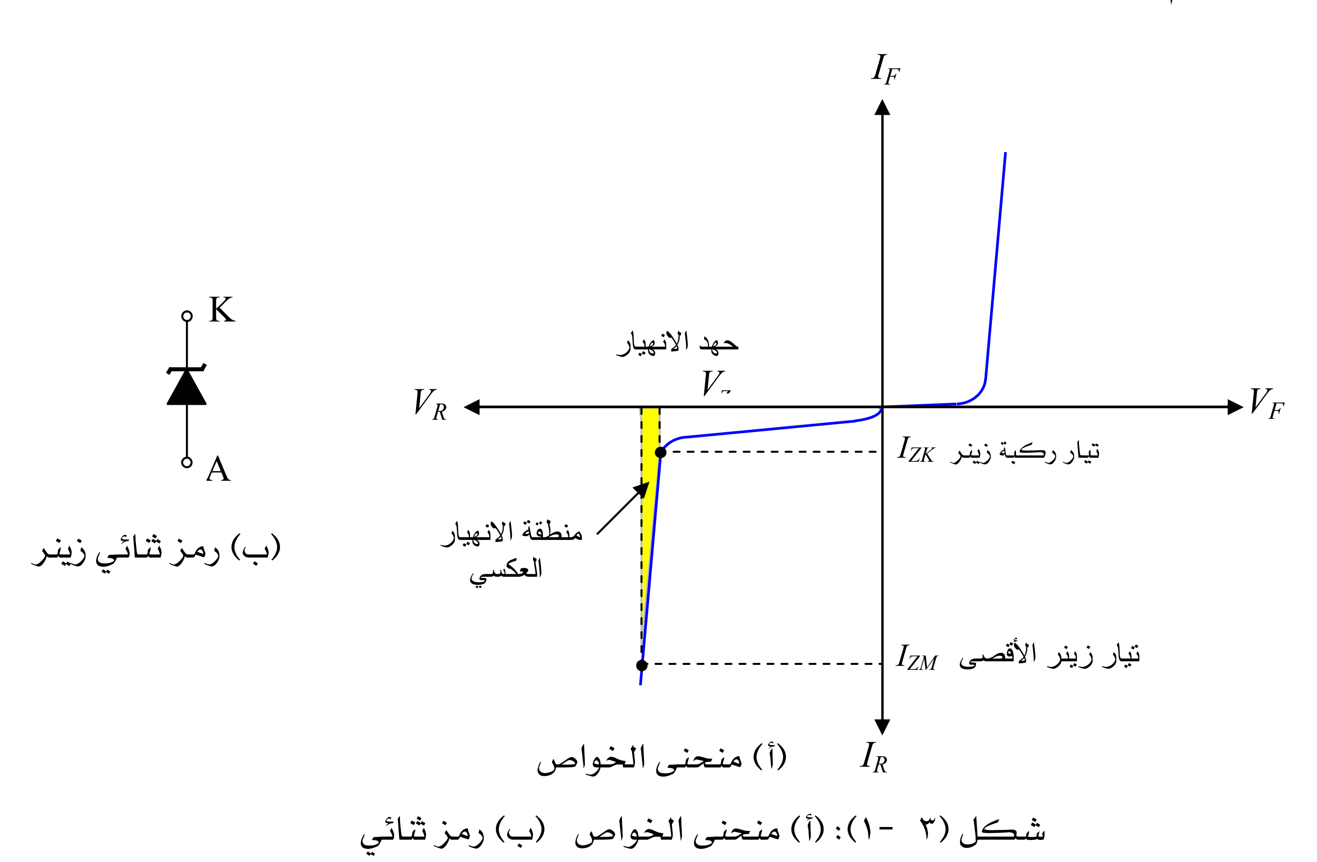
ثنائي زينر هو عبارة عن وصلة p-nمصنعة من السيليكون تختلف عن الثنائي العادي في كونها مصممة للعمل في منطقة الانهيار العكسي بدون حدوث أي مشاكل. ويمكن التحكم في قيمة جهد الانهيار عن طريق التحكم في نسبة الشوائب المضافة إلى السيليكون لتحويله إلى نوع -n أو نوع -p أثناء عملية التصنيع. وثنائي زينر متوفر تجاريا بجهود تتراوح من 1.8V إلى 200Vبقدرة تصل إلي 100W.

هناك ظاهرتان لحدوث الانهيار للثنائي في حالة الانحياز العكسي إحداهما تحدث عند قيم عالية للجهد(أكبر من 5V) وهى ما تسمى بظاهرة الانهيار المتتابع (Avalanche Breakdown) ويحدث هذا الانهيار عندما تكتسب حاملات الشحنة طاقة كبيرة عند اجتيازها للمجال الكهربي الشديد في منطقة الاستنزاف. وعند اصطدام حاملات الشحنة بذرات البناء البلوري فإنها تؤينها وبالتالي تتولد أزواج جديدة من الإلكترونات -الفجوات تؤدي إلي زيادة كبيرة للتيار دون زيادة تذكر في قيمة فرق الجهد عبر الثنائي. وتحدث هذه الظاهرة في الثنائيات عندما تكون نسبة الشوائب الموجودة فيها قليلة نسبيا.

أما الظاهرة الأخرى وهى ما تسمى بانهيار زينر (Zener Breakdown) فهي تحدث عند قيم منخفضة للجهد (أقل من 5V) في الثنائيات التي تكون نسبة الشوائب فيها عالية حيث تؤدي الزيادة في شدة المجال الكهربي إلى تمزق الروابط التساهمية بين الذرات، ونتيجة لذلك تتولد أزواج من الإلكترونات -الفجوات ويمكن خفض قيمة جهد الانهيار للثنائي بزيادة نسبة الشوائب المطعمة فيه.

٣ -٣ منحنى الخواص لثنائي زينر Zener diode characteristic curve

شكل (٣ -١) يوضح منحنى الخواص لثنائي زينر والرمز المستخدم له. ونلاحظ من الشكل أن ثنائي زينر له نفس خواص الثنائي العادي في حالة الانحياز الأمامي أما في حالة الانحياز العكسي فإن التيار المار خلال الثنائي يكون ضئيلا جدا للجهود الأقل من جهد الانهيار أو جهد زينر V_z، ولكن عند الوصول إلي جهد زينر يزداد التيار بسرعة دون زيادة ملحوظة في الجهد ، لذلك يستخدم ثنائي زينر كمثبت أو منظم للجهد (Voltage Regulator).



شكل (٣ -١): (أ) منحنى الخواص (ب) رمز ثنائي

تعتمد فكرة تثبيت أو تنظيم الجهد باستخدام ثنائي زينر على احتفاظ الثنائي في منطقة الانهيار بقيمة شبه ثابتة للجهد على طرفيه خلال مدى من التيار العكسي يتراوح من I_{ZK} (تيار ركبة زينر) إلى I_{ZM} (تيار زينر الأقصى). ويعرف تيار الركبة لزينر I_{ZK} بأنه اقل قيمة للتيار العكسي تحافظ على ثنائي زينر في منطقة الانهيار للعمل كمنظم للجهد ونلاحظ من منحنى الخواص أنه إذا قلت قيمة تيار الزينر عن قيمة تيار الركبة فإن قيمة الجهد سوف تقل عن قيمة جهد الزينر وبالتالي لا يعمل الثنائي كمنظم للجهد.

وتمثل I_{ZM} أقصى قيمة للتيار يمكن أن تمر خلال ثنائي زينر في منطقة الانهيار واى زيادة في قيمة التيار المار عبر ثنائي زينر عن هذه القيمة سوف تؤدي إلى تدمير الثنائي وذلك لزيادة الطاقة المبددة وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة عن القيمة القصوى التي يتحملها الثنائي.

٣ -٤ الدائرة المكافئة لثنائي زينر Zener diode equivalent circuit

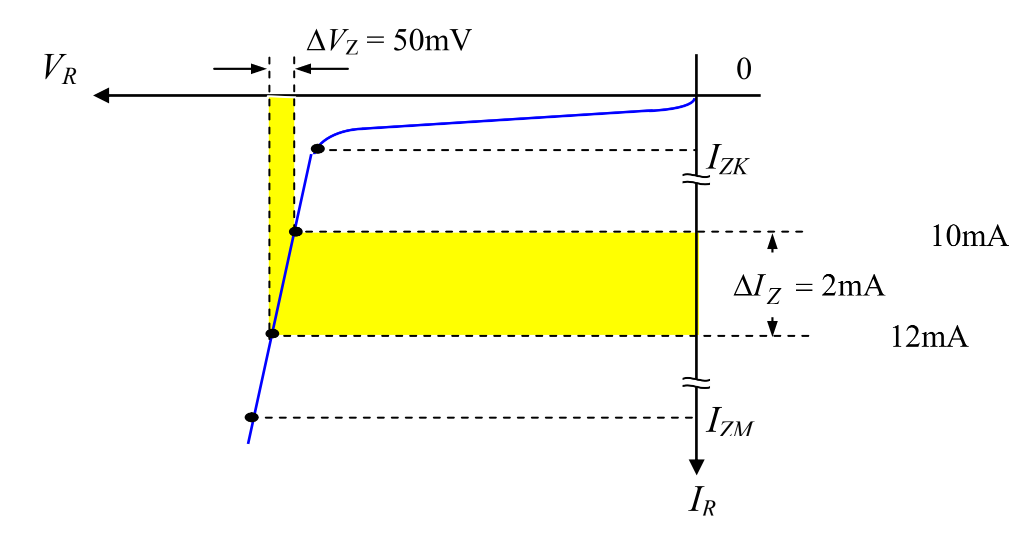
شكل (٣ - ٢أ) يوضح الدائرة المكافئة لثنائي زينر، حيث يعمل الثنائي كما لو كان بطارية لها جهد يساوي جهد زينر V_Z موصل معها مقاومة صغيرة r_Z تمثل مقاومة ثنائي زينر. ويمكن حساب قيمة المقاومة r_Z من خلال منحنى الخواص لثنائي زينر في منطقة الانهيار الموضح في شكل (٣ - ٢ب)، حيث نلاحظ أن التغير في قيمة التيار المار في ثنائي زينر يؤدي إلي تغير صغير في قيمة الجهد على طرفي الثنائي وتبعا لقانون اوم فإن النسبة بين التغير في قيمة الجهد ΔV_Z إلي التغير في قيمة التيار ΔI_Z تمثل المقاومة r_Z، كما هو مبين بالعلاقة الآتية:

$$r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} \qquad (٣ -١)$$

شكل (٣ -٢): (أ) منحنى الخواص لثنائي زينر في منطقة الانهيار. (ب) الدائرة المكافئة لثنائي زينر

مثال ٣ -١:

أوجد المقاومة r_Z لثنائي زينر الذي له منحنى الخواص الموضح بشكل ٣ -٣.



شكل ٣ - ٣

الحل:

$$r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{50mV}{2mA} = 25\Omega$$

مثال ٣ -٢:

إذا كانت $r_Z = 5\Omega$ ، $V_Z = 6.8V$ فما هي قيمة الجهد على طرفي ثنائي زينر V_{ZD} عند مرور تيار مقداره 20mA.

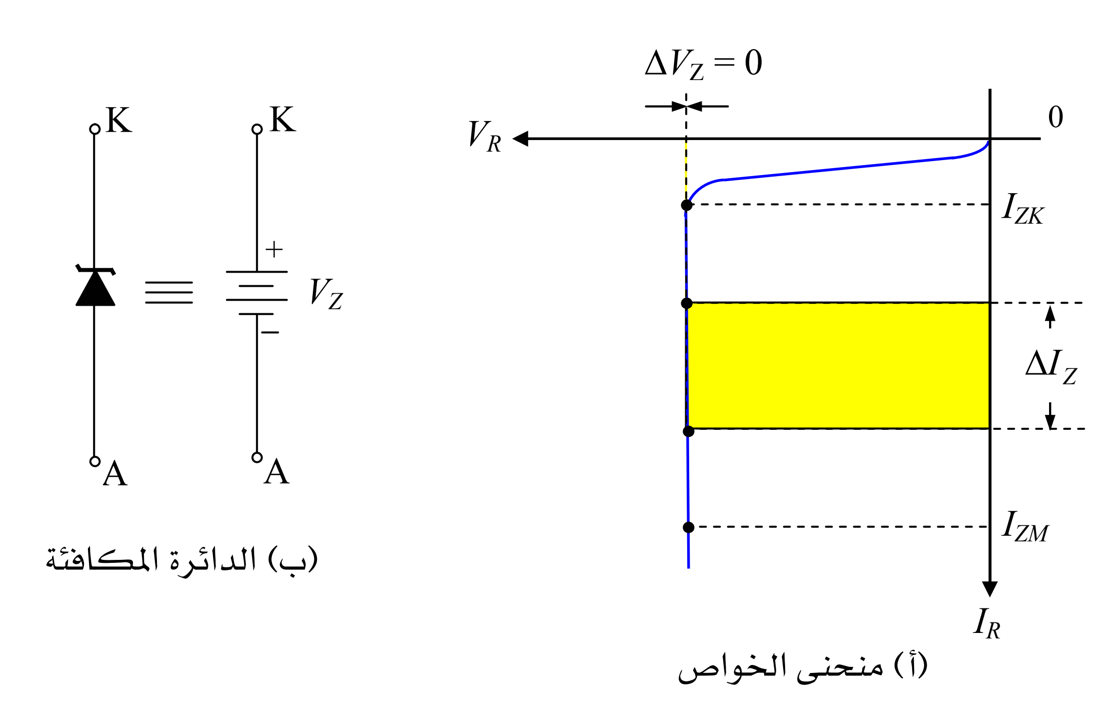
الحل:

$$V_{ZD} = V_Z + I_Z r_Z$$
$$= 6.8\ V + 20\ mA \times 10^{-3}\ (A/mA) \times 5\ \Omega = 6.9\ V$$

شكل ٣ -٤(أ) يوضح منحنى الخواص لثنائي زينر المثالي (ideal zener diode) في منطقة الانهيار حيث يكون الجهد على طرفي الثنائي ثابتا ($\Delta V_Z = 0$) مع التغير في قيمة التيار المار في ثنائي زينر وبالتالي فإن:

$$r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{0}{\Delta I_Z} = 0 \qquad (٣ -٢)$$

وتصبح الدائرة المكافئة لثنائي زينر كالمبينة بشكل ٣ -٤(ب) حيث يعمل الثنائي كما لو كان بطارية لها جهد يساوي جهد الزينر V_Z.



(ب) الدائرة المكافئة

(أ) منحنى الخواص

شكل (٣ -٤): (أ) منحنى الخواص لثنائي زينر المثالي في منطقة الانهيار.
(ب) الدائرة المكافئة لثنائي زينر المثالي

٣ -٥ معامل الحرارة Temperature coefficient

يحدد هذا المعامل النسبة المئوية لتغير جهد الزينر V_Z لكل تغير في درجة الحرارة مقداره واحد درجة مئوية. وكمثال على ذلك إذا كان $V_Z = 12$ V وكان المعامل الحراري $0.1\% / {}^{o}C$ فإن V_Z يتغير بمقدار 0.012 V عندما تتغير درجة حرارة الوصلة بمقدار $1^{o}C$. ويمكن استنتاج التغير في V_Z من خلال المعادلة الآتية:

$$\bullet VZ = VZ \times TC \times \bullet T \quad (٣ -٣)$$

حيث:

V_Z = جهد الزينر عند $25^{o}C$

TC = المعامل الحراري

ΔT = مقدار التغير في درجة حرارة الوصلة.

والمعامل الحراري TC إما أن يكون موجب (positive temperature coefficient) ويعني أن جهد زينر V_Z يزيد مع زيادة درجة الحرارة ويقل مع انخفاض درجة الحرارة، أو يكون سالب (negative temperature coefficient) فيعني أن جهد زينر V_Z يقل مع زيادة درجة الحرارة ويزيد مع انخفاض درجة الحرارة.

في بعض الأحيان يعبر عن المعامل الحراري بمقدار التغير بالملي فولت لجهد زينر لكل تغير في درجة الحرارة مقداره واحد درجة مئوية (mV / C^o) بدلا من النسبة المئوية لتغير جهد زينر لكل تغير في درجة الحرارة مقداره واحد درجة مئوية ($\% / C^o$) وبالتالي فإن التغير في V_Z يحسب من خلال المعادلة الآتية:

$$\Delta V_Z = TC \times \Delta T$$

مثال ٣ -٣:

ثنائي زينر له جهد زينر يساوى 8.2V وله معامل حراري موجب $0.048\% / C^o$. أوجد قيمة جهد زينر عند $60\ ^oC$.

الحل:

التغير في جهد زينر نتيجة لتغير درجة الحرارة من $25\ ^oC$ إلي $60\ ^oC$ يساوى:

$$\Delta V_Z = V_Z \times TC \times \Delta T$$

$$= (8.2V)(0.048\% / C^o)(60^oC - 25^oC) = 144\ mV$$

وبالتالي فإن قيمة جهد الزينرعند $60\ ^oC$ تكون:

$$V_Z + \Delta V_Z = 8.2\ V + 144\ mV = 8.34\ V$$

٢ -٦ القدرة المبددة في ثنائي زينر Zener Power Dissipation

تحدد قيمة القدرة المبددة في ثنائي زينر P_Z بالعلاقة الآتية:

$$P_Z = V_Z I_Z$$

ونظراً لأن قيمة جهد الزينر V_Z تكون ثابتة بالنسبة لثنائي زينر الواحد فإن قيمة القدرة المبددة P_Z تعتمد على قيمة التيار المار في الثنائي I_Z. وبالتالي فإن القيمة القصوى للقدرة المبددة في ثنائي زينر $P_{Z(max)}$ (maximum power dissipation of a zener diode) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{Z(max)} = V_Z I_{ZM} \qquad (٣ -٤)$$

حيث I_{ZM} هو تيار زينر الأقصى (maximum zener current).

مثال ٣ -٤:

احسب القدرة المبددة القصوى لثنائي زينر له جهد زينر يساوى 20V وتيار زينر يتراوح من 2 mA إلى 20 mA.

الحل:

$$P_{Z(\max)} = V_Z I_{ZM}$$
$$= (20V)(20mA) = 400mW$$

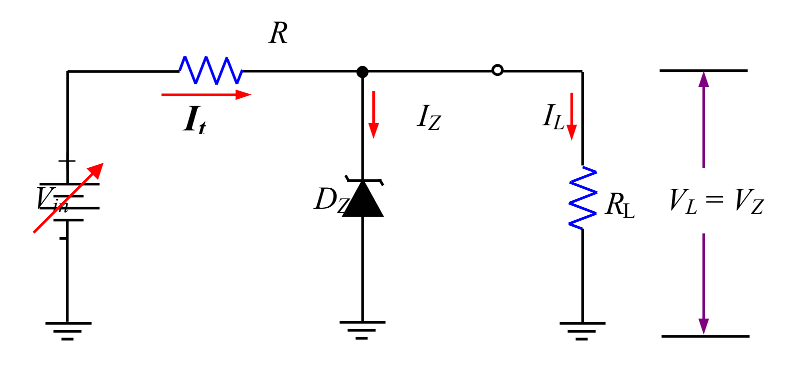
٣ -٧ ثنائي زينر كمثبت (منظم) للجهد Zener Diode as a Voltage Regulator

يستخدم ثنائي زينر كمثبت (منظم) للجهد في مصادر القدرة ذي التيار المستمر لتثبيت قيمة فرق الجهد على طرفي الحمل مع التغيرات التي يمكن أن تحدث إما في قيمة جهد الدخل المستمر وهو ما يسمى بتنظيم الخط (line regulation)، أو في قيمة مقاومة الحمل وهو ما يطلق عليه تنظيم الحمل (load regulation).

٣ -٧ -١ منظم زينر مع تغير جهد الدخل Zener Regulation with a Varying Input Voltage

شكل (٣ -٥) يبين دائرة عملية بسيطة لتثبيت قيمة فرق الجهد على طرفي الحمل V_L عند جهد يساوي جهد زينر V_Z في حالة تغير جهد الدخل V_{in} وهو ما يطلق عليه تنظيم الدخل أو تنظيم الخط.

ويتلخص عمل هذه الدائرة في أنه عند حدوث زيادة في جهد الدخل V_{in} فإن ثنائي زينر يحافظ على جهد الحمل ثابتا عند قيمة تساوي V_Z وهذا يؤدي إلى زيادة الجهد المطبق على المقاومة R وبالتالي زيادة التيار I_t المار خلالها. ونظرا لأن التيار المار خلال مقاومة الحمل I_L يكون ثابتا فإن الزيادة في التيار I_t تتدفق عبر الثنائي، وتستمر عملية تثبيت جهد الحمل مع تغير جهد الدخل طالما أن قيمة التيار المار خلال الزينر I_Z أكبر من قيمة I_{ZK} وأقل من قيمة I_{ZM} وذلك للحفاظ على ثنائي زينر في منطقة الانهيار.



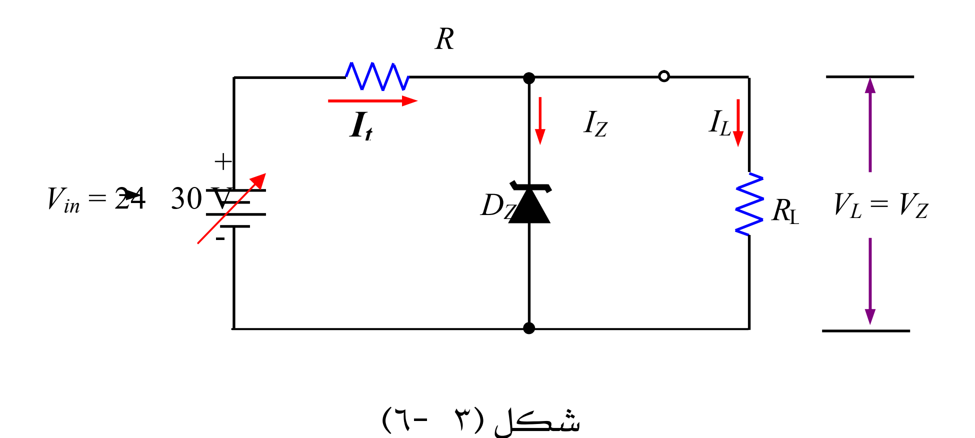
شكل (٣ -٥) استخدام ثنائي زينر كمنظم مع تغير جهد الدخل

مثال ٣ -٥:

بالنسبة لمنظم الجهد المبين بشكل (٣ -٦)، افترض أن $V_Z = 20\text{V}$، $R = 20\ \Omega$، $R_L = 200\ \Omega$، $r_Z = 0$ وجهد الدخل يتغير بين 24V إلي 30 V.

(أ) أوجد أقل وأكبر قيمة لتيار زينر ($I_{Z(\min)}$ و $I_{Z(\max)}$).

(ب) أوجد أقصى قدرة مبددة في المقاومة R وفي ثنائي زينر ($P_{R(\max)}$ و $P_{Z(\max)}$)



شكل (٣ -٦)

الحل:

(أ) تيار الحمل المار في المقاومة R_L يساوي:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20\text{V}}{200\Omega} = 0.1\text{A}$$

التيار الكلي المار في المقاومة R يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_t = \frac{V_{in} - V_Z}{R}$$

ونظراً لثبات قيمة V_Z وكذلك قيمة R فإن قيمة التيار الكلي I_t تعتمد على قيمة جهد الدخل V_{in} وبالتالي فإن أقل قيمة للتيار الكلي $I_{t(\min)}$ تكون عند $V_{in} = 24\text{V}$ بينما أعلى قيمة للتيار الكلي $I_{t(\max)}$ تكون عند $V_{in} = 30\text{V}$.

$$I_{t(\min)} = \frac{24\text{V} - 20\text{V}}{20\Omega} = 0.2\text{A}$$

$$I_{t(\max)} = \frac{30\text{V} - 20\text{V}}{20\Omega} = 0.5\text{A}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار نحصل على:

$$I_t = I_Z + I_L$$

ونظرا لثبات تيار الحمل I_L فإن التيار المار في ثنائي زينر يكون أقل ما يمكن $(I_Z = I_{Z(\min)})$ في حالة $I_{t(\min)}$ بينما يكون أكبر ما يمكن $(I_Z = I_{Z(\max)})$ في حالة $I_{t(\max)}$.

$$I_{Z(\min)} = I_{t(\min)} - I_L = 0.2A - 0.1A = 0.1A$$
$$I_{Z(\max)} = I_{t(\max)} - I_L = 0.5A - 0.1A = 0.4A$$

(ب) أقصى قدرة مبددة في المقاومة R تساوي:

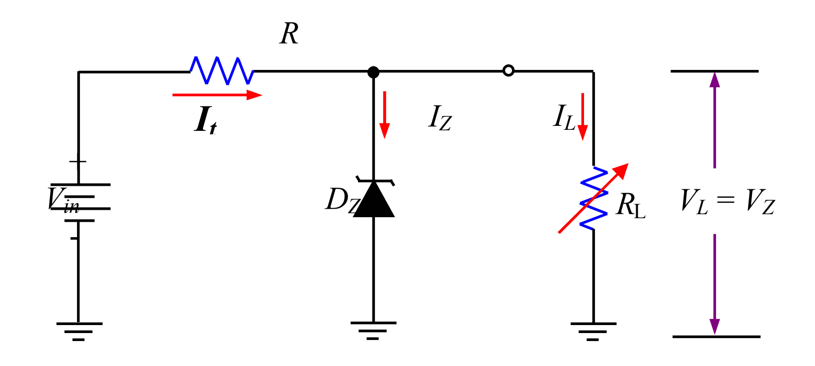
$$P_{R(\max)} = I_{t(\max)}{}^2 R$$
$$= (0.5A)^2 (20\Omega) = 5W$$

أقصى قدرة مبددة في ثنائي زينر تساوي:

$$P_{Z(\max)} = V_Z I_{Z(\max)}$$
$$= (20V)(0.4A) = 8W$$

٣ -٧ -٢ منظم زينر مع تغير الحمل Zener Regulation with a Variable Load

شكل (٣ -٧) يبين كيفية استخدام ثنائي زينر كمثبت لجهد الحمل V_L عند جهد يساوي جهد زينر V_Z في حالة تغير قيمة الحمل R_L وهو ما يطلق عليه تنظيم الحمل.



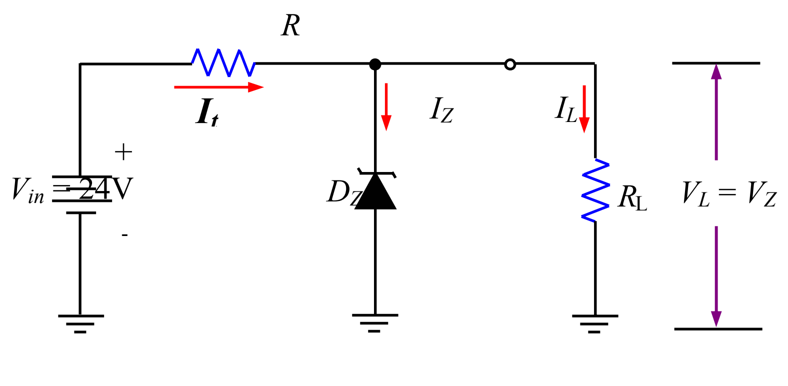
شكل (٣ -٧) استخدام ثنائي زينر كمنظم مع تغير

عندما تكون أطراف الخرج لمنظم زينر للجهد المبين في شكل ٣ -٧ مفتوحة $(R_L = \infty)$، فإن تيار الحمل I_L يساوي صفر وبالتالي يتدفق التيار الكلي I_t خلال ثنائي زينر. وعند توصيل مقاومة الحمل R_L فإن جزء من التيار الكلي يمر عبر الثنائي والجزء الآخر يمر خلال الحمل. وبتقليل قيمة R_L فإن قيمة تيار الحمل I_L تزيد بينما تقل قيمة تيار الزينر I_Z حيث أن قيمة التيار الكلي I_t تكون ثابتة. ويستمر ثنائي زينر في عملية تثبيت جهد الحمل V_L عند قيمة جهد الزينر V_Z إلى أن يصل تيار الزينر I_Z إلى اقل قيمة له (I_{ZK}) وعند هذه النقطة يصل تيار الحمل I_L إلي أقصى قيمة له $(I_{L(\max)})$، أي أن:

$$I_t = I_{ZK} + I_{L(\max)}$$ (٣ -٥)

مثال ٣ -٦:

أوجد قيم $I_{L(\max)}$، $I_{L(\min)}$ و $R_{L(\min)}$ التي تحافظ على ثنائي زينر، الموضح بشكل(٣ -٨)، للعمل كمثبت للجهد علماً بأن V_Z=12V، I_{ZK} = 1 mA، I_{ZM}= 50 mA، و r_Z = 0.



شكل(٣ -٨)

الحل:

عند $R_L = \infty$ فإن I_L = 0A وبالتالي يصل I_Z إلى أقصى قيمة له وهى تساوي قيمة التيار الكلي I_t، أي أن

$$I_{Z(\max)} = I_t = \frac{V_{in} - V_Z}{R} = \frac{24\text{V} - 12\text{V}}{470\Omega} = 25.5\text{mA}$$

وحيث ان قيمة $I_{Z(\max)}$ أقل من I_{ZM} فهذا يعني أن التيار الكلي يمكن أن يمر خلال ثنائي زينر وبالتالي قيمة I_L = 0A تكون مقبولة كأقل قيمة لتيار الحمل وهو ما يعنى أنه يمكن فصل الحمل من الدائرة ولا يؤثر هذا على عمل الثنائي كمثبت للتيار.

$$\therefore I_{L(\min)} = 0\text{A}$$

$$\because I_t = I_{ZK} + I_{L(\max)}$$

$$\therefore I_{L(\max)} = I_t - I_{ZK} = 25.5\text{mA} - 1\text{mA} = 24.5\text{mA}$$

وبالتالي فإن قيمة $R_{L(\min)}$ تكون:

$$R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{I_{L(\max)}} = 490\Omega$$

وهذا يعنى أنه إذا قلت قيمة R_L عن 490Ω فإن قيمة التيار I_L تزيد عن 24.5 mA وبالتالي تقل قيمة I_Z عن I_{ZK} (1 mA) ويخرج ثنائي زينر من منطقة الانهيار ولا يعمل كمثبت للتيار.

٣ -٧ -٣ النسبة المئوية للتنظيم Percent Regulation

تستخدم النسبة المئوية للتنظيم كمقياس لكفاءة منظم الجهد في حالة تنظيم الخط أو حالة تنظيم الحمل.

- **أولاً: تنظيم الخط**

عندما يتغير جهد الدخل يحاول منظم الجهد إعطاء جهد ثابت على الخرج ولذلك يعرف تنظيم الخط بأنه النسبة المئوية للتغير في جهد الخرج ΔV_{out} إلى التغير في جهد الدخل ΔV_{in} ويمثل بالعلاقة:

$$\text{Line regulation} = \left(\frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}}\right)100\%$$

مثال ٣ -٧:

إذا كان جهد الخرج لإحدى منظمات الجهد يتغير بمقدار 0.25V نتيجة لتغير جهد الدخل بمقدار 5V فما هي نسبة تنظيم الخط؟

الحل:

$$\text{Line regulation} = \left(\frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}}\right)100\% = \left(\frac{0.25\text{V}}{5\text{V}}\right)100\% = 5\%$$

- **ثانياً: تنظيم الحمل**

عند تغير قيمة الحمل يحاول منظم الجهد الاحتفاظ بجهد خرج ثابت ولذا يعرف تنظيم الحمل بأنه النسبة المئوية لمقدار تغير جهد الخرج من حالة اللاحمل (no load) إلي حالة الحمل الكامل (full load) ويمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$\text{Load regulation} = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}\right)100\%$$

حيث: -

V_{NL} = جهد الخرج في حالة اللاحمل

V_{NL} = جهد الخرج في حالة الحمل الكامل

مثال ٣ -٨:

إذا كان جهد الخرج، لإحدى منظمات الجهد ، في حالة اللاحمل يساوي 12V وفى حالة الحمل الكامل يساوي 11.95V فما هي نسبة تنظيم الحمل؟

الحل:

$$\text{Load regulation} = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}\right)100\%$$
$$= \left(\frac{12\text{V} - 11.95\text{V}}{11.95\text{V}}\right)100\% = 0.418\%$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

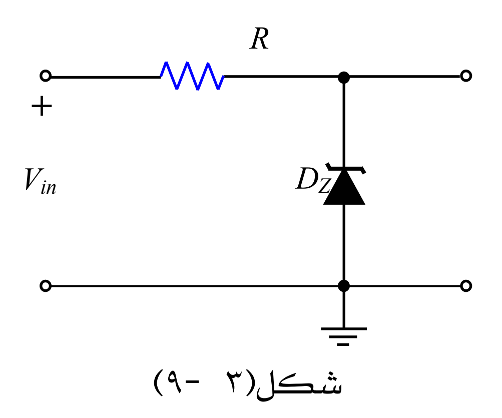
٣ -١ ما هو الفرق بين ثنائي زينر والثنائي العادي؟

٣ -٢ أرسم منحنى الخواص والرمز الكهربائي لثنائي زينر.

٣ -٣ إذا تغير جهد زينر من 5.6V إلى 5.65V نتيجة لزيادة التيار العكسي لثنائي زينر من 20m إلي 30mA، فما هي مقاومة ثنائي زينر؟

٣ -٤ أوجد قيمة جهد زينر عند درجة حرارة 70^oC إذا كانت قيمته عند درجة حرارة 25^oC تساوي 6.8 V، علما بأن المعامل الحراري يساوي $+0.04\% / ^oC$.

٣ -٥ حدد القيمة الصغرى المطلوبة لجهد الدخل للدائرة المبينة بشكل (٣ -٩) لتحقيق عملية تنظيم الجهد علما بأن $I_{ZK} = 1.5$ mA و $V_Z = 14$ V وبفرض أن ثنائي زينر من النوع المثالي.

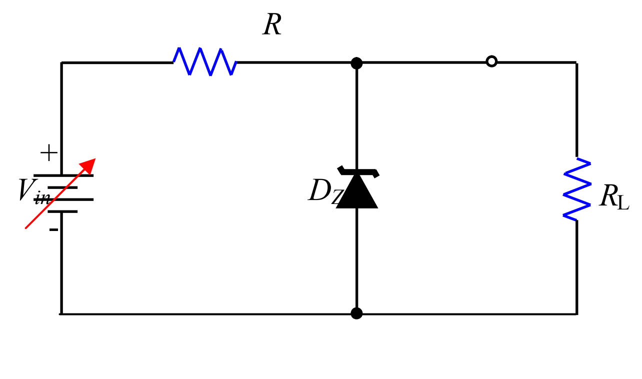


شكل (٣ -٩)

٣ -٦ بالنسبة لمنظم الجهد المبين بشكل (٣ -١٠)، افترض أن $V_Z = 200V$، $R = 20\ \Omega$، $R_L = 250\ \Omega$، $r_Z = 0$ وجهد الدخل يتغير بين 220V. إلي 240 V.

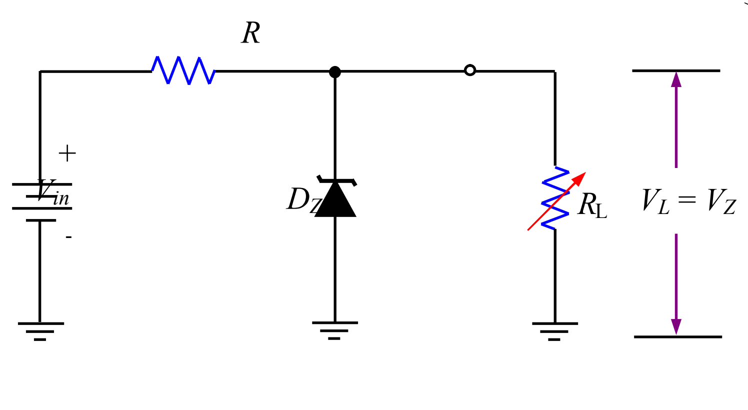
(أ) أوجد أقل وأكبر قيمة لتيار زينر.

(ب) أوجد أقصى قدرة مبددة في مقاومة الحمل وفي ثنائي زينر.



شكل (٣ -١٠)

٣ -٧ بالنسبة لمنظم الجهد المبين بشكل (٣ -١١)، V_{in}=30V ، V_Z=20V ، I_{ZK} = 5 mA ، I_{ZM} = 200 mA ، $R = 50\Omega$ و $r_Z = 0$. أوجد التغير في قيمة المقاومة R_L مع استمرار عملية تنظيم الجهد عند قيمة جهد زينر.



شكل(٣ -١١)

٣ -٨ إذا كان جهد الخرج لأحد منظمات الجهد يتغير بمقدار 0.2V نتيجة لتغير جهد الدخل من 5V إلي 10V فما هي نسبة تنظيم الخط؟

٣ -٩ إذا كان جهد الخرج، لإحدى منظمات الجهد ، في حالة اللاحمل يساوي 3.6V وفى حالة الحمل الكامل يساوي 3.4V فما هي نسبة تنظيم الحمل؟

ترانزستور ثنائي القطبية

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة البناء الأساسي لترانزستور الوصلة ثنائي القطبية.
- شرح كيفية تغذية الترانزستور ودراسة الجهود والتيارات الخاصة به.
- معرفة خواص ومعاملات الترانزستور واستعمالها لتحليل دائرة الترانزستور.
- معرفة أنماط التشغيل المختلفة للترانزستور.
- معرفة تأثير درجة الحرارة علي معاملات الترانزستور.

٤-١ مقدمة Introduction

يعتبر الترانزستور أحد أهم عناصر أشباه الموصلات التي تم اكتشافها في العصر الحديث. يستخدم الترانزستور بشكل عام في مكبرات الإشارات الكهربائية والمفاتيح الإلكترونية المختلفة، وقد ساعدت عدة عوامل مثل صغر حجمه، وسهولة تصنيعه، وقلة تكاليفه واستهلاكه القليل للطاقة الكهربائية على انتشاره بشكل كبير.

يوجد نوعان رئيسيان من الترانزستورات وهما الترانزستور ثنائي القطبية (Bipolar Junction Transistor) وترانزستور تأثير المجال (Field Effect Transistor).

تتناول هذه الوحدة دراسة النوع الأول وهو الترانزستور ثنائي القطبية، وسوف تهتم هذه الدراسة بتناول الموضوعات التالية:

١ - تركيب الترانزستور ثنائي القطبية

٢ - معاملات وخواص هذا الترانزستور

٣ - استخدام الترانزستور كمكبر

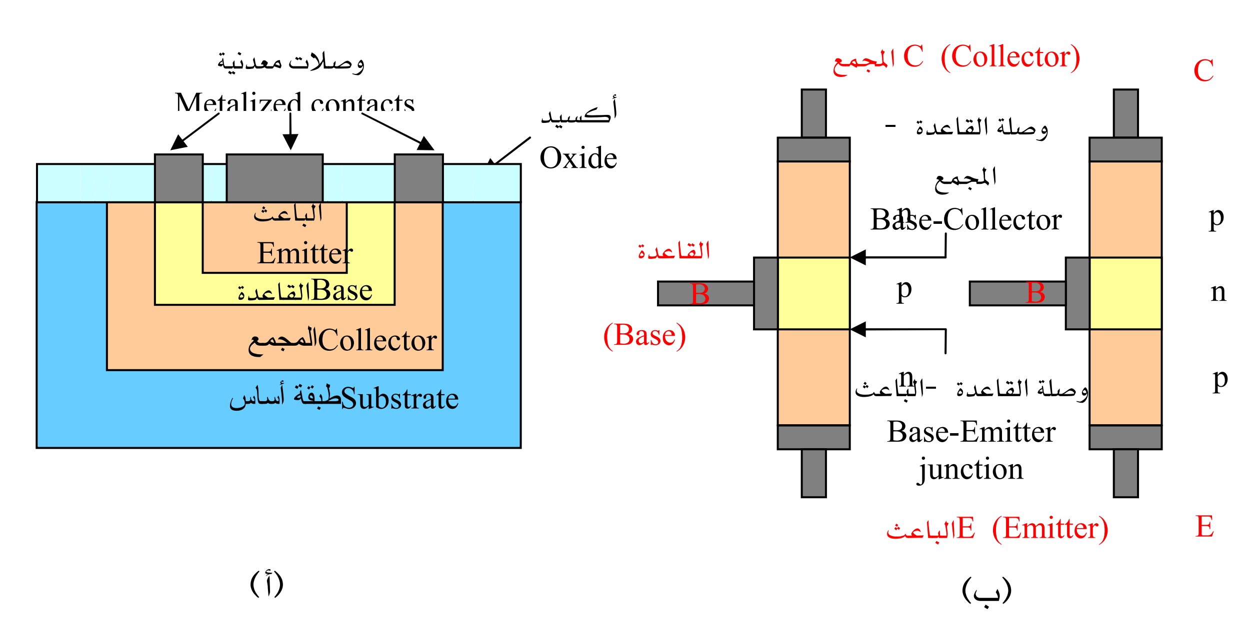
٤ - استخدام الترانزستور كمفتاح إلكتروني

٤ -٢ تركيب الترانزستور ثنائي القطبية Structure of Bipolar Junction Transistor

يوجد العديد من الطرق لتصنيع الترانزستور ثنائي القطبية، وسوف نقوم بدراسة إحدى هذه الطرق وهو أسلوب البناء السطحي بترتيب الطبقات (Epitaxial planar structure).

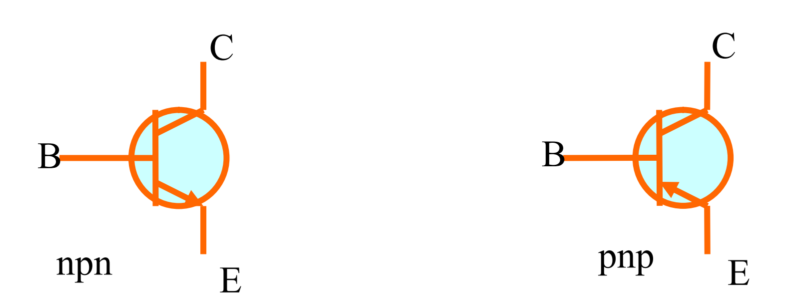
يتركب الترانزستور ثنائي القطبية من ثلاث مناطق من شبه الموصل المطعم مفصولة بوصلتين من النوع p-n كما هو مبين في الشكل(٤ -١أ). وتسمى هذه المناطق بالباعث(Emitter) والقاعدة (Base) والمجمع(Collector)، ويوجد نوعان من الترانزستور ثنائي القطبية وهما npn و pnp والشكل (٤ - ١ب) يبين التمثيل للرموز الطبيعية لهذه الأنواع من الترانزستور.

الوصلة pn التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة الباعث تسمى وصلة القاعدة -الباعث (Base-Emitter Junction) والوصلة التي تربط منطقة القاعدة ومنطقة المجمع تسمى وصلة القاعدة - المجمع (Base-Collector Junction) كما هو مبين في شكل (٤ -١ب)، ويرمز اختصاراً للمشع بالحرف E، وللمجمع بالحرف C، وكذلك القاعدة بالحرف B.



شكل(٤ -١) البناء الأساسى للترانزستور ثنائى القطبية.

شكل (٤ -٢) يبين الرمز القياسي الذي يستخدم في الدوائر الإلكترونية لكل من ترانزستور npn وكذلك ترانزستور pnp.

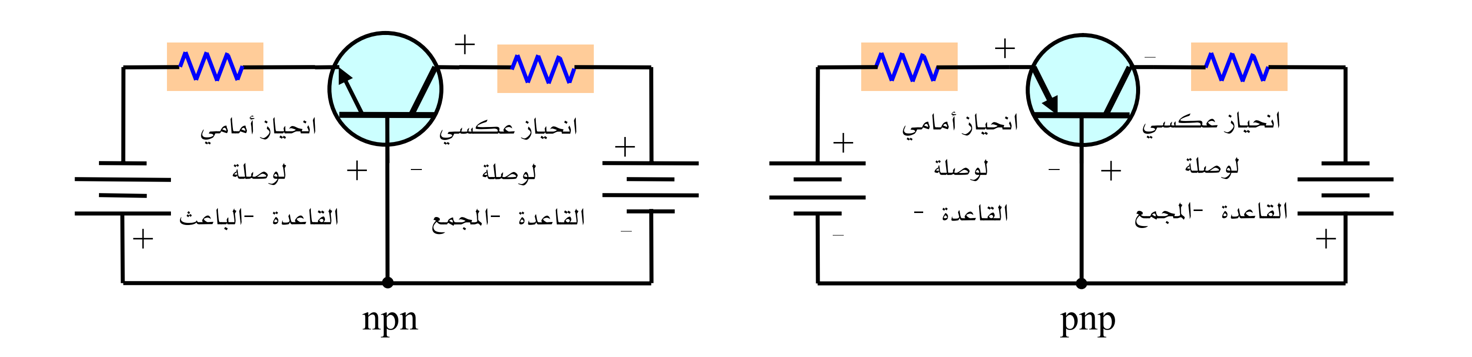


شكل(٤ -٢) يوضح الرموز القياسية المستخدمة في الدوائر الإلكترونية.

٤ -٣ العمل الأساسي للترانزستور Basic Transistor Operation

يعمل الترانزستور ثنائي القطبية بصفة أساسية كمكبر، ولجعله يعمل بشكل مناسب لابد من عمل الانحياز المناسب لكل من وصلتيه بجهد تيار مستمر خارجي.

شكل(٤ -٣) يبين الانحياز المناسب لكل من الترانزستور npn و الترانزستور pnp للعمل بشكل فعال كمكبر.



شكل (٤ -٣) يوضح الانحياز لترانزستور الوصلة ثنائي القطبية عند استخدامه

من الشكل نلاحظ أن الانحياز الأمامي دائما لوصلة القاعدة - الباعث والانحياز العكسي لوصلة القاعدة - المجمع لكل من نوعي الترانزستور في وضع التشغيل كمكبر.

ولتوضيح نظرية عمل الترانزستور، لابد أولاً من استعراض ما يحدث داخل الترانزستور من النوع npn عند توصيله للعمل كمكبر، أي توصيله في حالة انحياز أمامي - عكسي، ويمكن تلخيص العمل الأساسي للترانزستور في النقاط التالية:

١ - الانحياز الأمامي من القاعدة إلي الباعث يجعل منطقة الاستنزاف أو المنطقة القاحلة بينهما تضيق، والانحياز العكسي من القاعدة إلي المجمع يؤدي إلي اتساع منطقة الاستنزاف بينهما، كما درسنا في الوحدات السابقة، وكما هو موضح في شكل(٤ -٤).

٢ - التطعيم الكثيف لمنطقة الباعث من النوع n يؤدي إلي زيادة كبيرة في عدد إلكترونات التوصيل التي تستطيع الانتشار بسهولة خلال وصلة القاعدة -الباعث (BE junction) ذات الانحياز الأمامي، إلي منطقة القاعدة من النوع p حيث تصبح حاملات الشحنة أقلية، كما في حالة الثنائي عندما يكون في وضع الانحياز الأمامي.

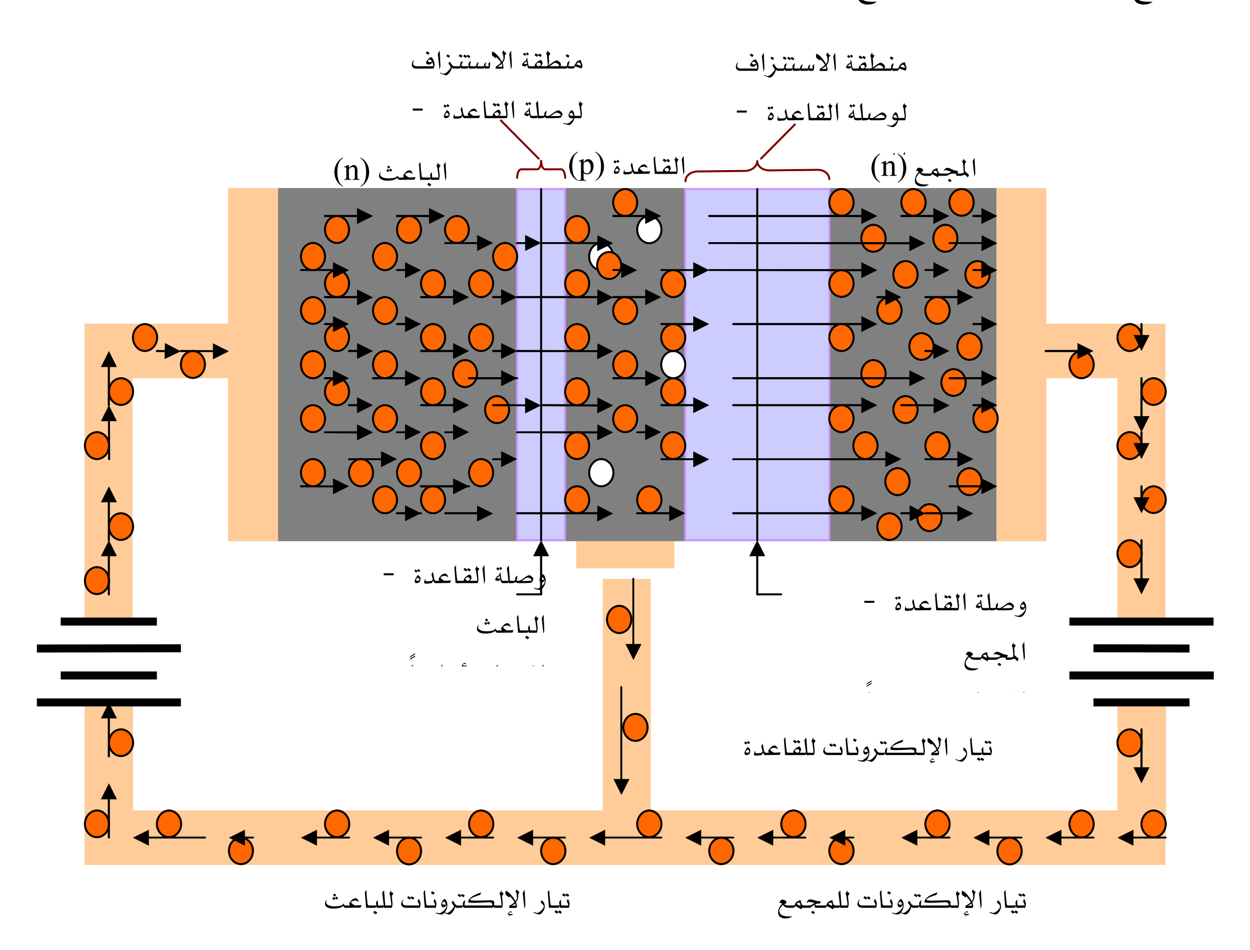
٣ - التطعيم الخفيف لمنطقة القاعدة بالإضافة إلي سمكها الضيق، يجعل عدد الفجوات فيها محدود جداً، ولهذا نسبة صغيرة من الإلكترونات الكلية التي تندفع من وصلة القاعدة -الباعث تتحد مع الفجوات المتاحة في القاعدة.

٤ - هذه الإلكترونيات المتحدة القليلة نسبياً تندفع خارج طرف توصيل القاعدة كالكترونات تكافؤ والتي تشكل تيار القاعدة الصغير كما في شكل (٤ -٤).

٥ - معظم الإلكترونات المندفعة من الباعث إلي منطقة القاعدة الضيقة وخفيفة التطعيم لا تتحد ولكن تنتشر إلي منطقة الاستنزاف بين القاعدة والمجمع.

٦ - في هذه المنطقة يحدث لها انجذاب بفعل المجال الكهربائي المتكون من قوة التجاذب بين الأيونات السالبة والموجبة نتيجة الانحياز العكسي لوصلة القاعدة والمجمع.

٧ - تتحرك الإلكترونات خلال منطقة المجمع خارجة خلال المجمع إلي الطرف الموجب لمنبع الجهد للمجمع مشكلة لتيار المجمع كما في شكل (٤ -٤).



شكل(٤ -٤) يوضح كيفية عمل الترانزستور ثنائي القطبية.

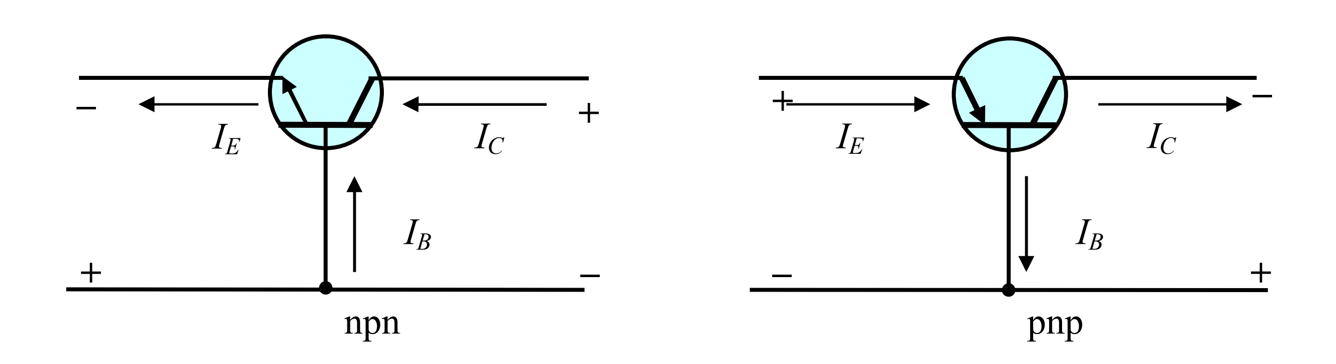
تيارات الترانزستور:

شكل (٤ -٥) يبين اتجاه تيارات الترانزستور من النوع npn و كذلك pnp، حيث يتبع اتجاه تيار الباعث نفس مسار السهم الموجود علي الرمز الخاص بالترانزستور وتياري القاعدة والمجمع الاتجاه العكسي.

الشكل يوضح أيضاَ أن تيار الباعث I_E يساوي مجموع تياري القاعدة I_B والمجمع I_C كما يلي:

$$I_E = I_C + I_B \qquad (٤ -١)$$

ويجب الأخذ في الاعتبار أن تيار القاعدة أقل بكثير من تيار المجمع وتيار الباعث كما ذكر من قبل في كيفية عمل الترانزستور.



شكل (٤ -٥) تيارات

٤ -٤ معاملات وخواص الترانزستور Transistor Characteristics and Parameters

سوف نتناول هنا بالدراسة كيفية توصيل دائرة التيار المستمر لتغذية الترانزستور بطريقة مناسبة، وكذلك تعريف المعاملات β_{dc} (تكبير التيار في حالة التيار المستمر) و α_{dc} واستخدامها في تحليل دائرة الترانزستور، سيتم أيضاً دراسة منحنيات الخواص للترانزستور واستخدامها في التعريف بمناطق التشغيل المختلفة للترانزستور.

٤ -٤ -١ كيفية توصيل الترانزستور إلي دائرة تيار مستمر Transistor DC Bias Circuits

حينما يوصل الترانزستور إلي دائرة تيار مستمر فإن الجهد V_{BB} يمثل جهد الانحياز الأمامي لوصلة القاعدة - الباعث والجهد V_{CC} يمثل جهد الانحياز العكسي لوصلة القاعدة - المجمع كما هو مبين في شكل(٤ -٦) لكل من نوعي الترانزستور.

٤ -٤ -٢ علاقة المعامل β_{dc} بالمعامل α_{dc} Relationship of β_{dc} and α_{dc}

يعرف المعامل β_{dc} علي أنه النسبة بين تيار المجمع I_C المستمر وتيار القاعدة المستمر I_B والذي يطلق عليه كسب الترانزستور في حالة التيار المستمر:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad (٤ -٢)$$

وكذلك يعرف المعامل α_{dc} علي أنه النسبة بين تيار المجمع I_C المستمر وتيار الباعث I_E.

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_E} \qquad (٤ -٣)$$

العلاقة بين المعاملين يمكن استنتاجها كما يلي:

$$I_E = I_C + I_B$$

بقسمة طرفي المعادلة السابقة علي I_C تصبح:

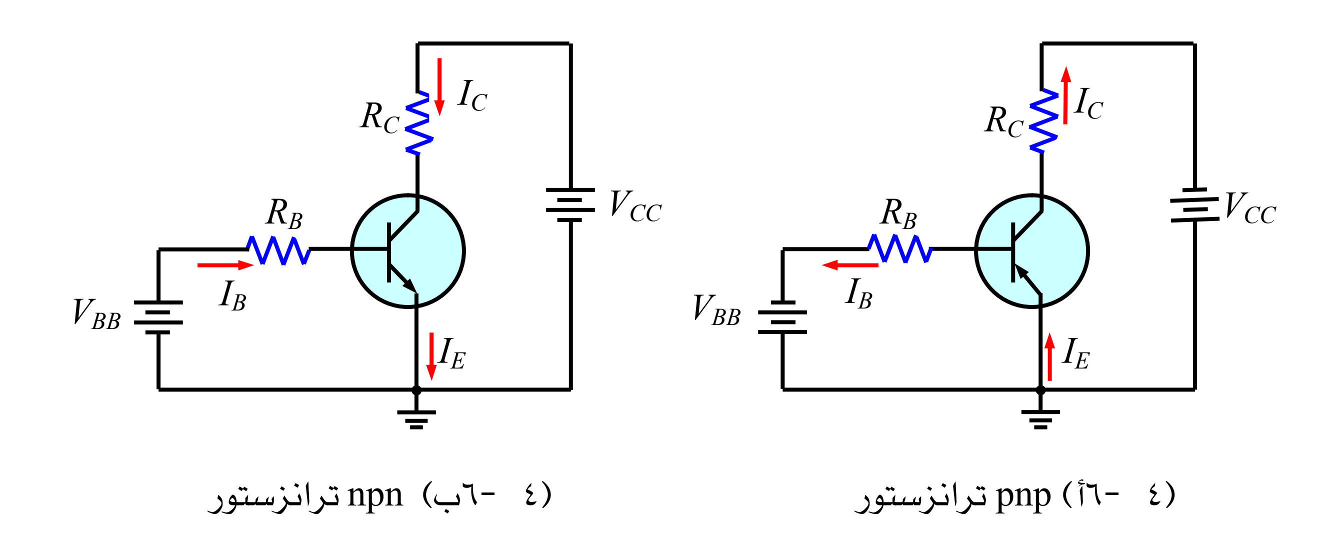
$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$ (٤ -

٤)

من المعادلات (٤ -٢) و(٤ -٣) و (٤ -٤) نحصل علي علاقة تربط بين كل من β_{dc} و α_{dc} كما يلي:

$$\beta_{dc} = \frac{\alpha_{dc}}{1 - \alpha_{dc}}$$ (٤ -٥)

نلاحظ من المعادلة السابقة أنه كلما اقترب المعامل α_{dc} من الواحد الصحيح كلما ارتفعت قيمة المعامل β_{dc}.



شكل(٤ -٦) يبين توصيل الترانزستور بنوعيه إلى دائرة تيار

مثال ٤ -١:

أوجد قيمة كل من β_{dc} و I_E و α_{dc} لترانزستور حيث $I_B = 50\mu A$ و $I_C = 3.65mA$.

الحل:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.65 \text{ mA}}{50 \ \mu\text{A}} = 7.3$$

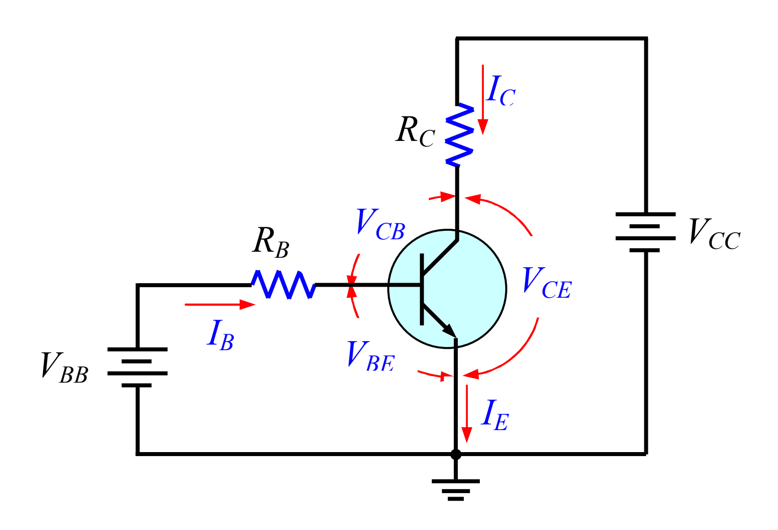
$$I_E = I_C + I_B = 3.65\text{mA} + 50 \ \mu\text{A} = 3.70\text{mA}$$

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{3.65 \text{ mA}}{3.70 \text{ mA}} = 0.986$$

٤ -٤ -٣ تحليل الجهد والتيار Current and Voltage Analysis

لتحليل الجهد والتيار نأخذ الدائرة الأساسية لتغذية الترانزستور، وفيها يوصل طرف الباعث بالأرضي ويكون هذا الطرف مشترك بين الدخل والخرج كما في شكل(٤ -٧) حيث يوجد ثلاثة تيارات وثلاثة جهود وهي:

- I_B : تيار القاعدة المستمر.
- I_E : تيار الباعث المستمر.
- I_C : تيار المجمع المستمر.
- V_{BE} : جهد التيار المستمر بين القاعدة والباعث.
- V_{CB} : جهد التيار المستمر بين المجمع والقاعدة.
- V_{CE} : جهد التيار المستمر بين المجمع والباعث.



شكل(٤ -٧) يوضح جهود وتيارات الترانزستور.

الانحياز الأمامي لوصلة القاعدة – الباعث يتم عن طريق الجهد V_{BB} والانحياز العكسي لوصلة القاعدة - المجمع يتم عن طريق الجهد V_{CC}، وعندما تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة انحياز أمامي تعمل كثنائي في حالة الاحياز الأمامي وبذلك يكون الجهد بين القاعدة والباعث مساوياً للجهد الحائل (Barrier Potential):

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V} \quad (٤ - ٦)$$

وحيث إ جهد الباعث يساوي صفر لأنه متصل بالأرضي لذلك يمكن تطبيق قانون كيرشوف علي دائرة الدخل لإيجاد الجهد الواقع علي المقاومة R_B.

$$V_{R_B} = V_{BB} - V_{BE} = I_B R_B$$

بالتالي يمكن الحصول علي تيار القاعدة I_B كما يلي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (٤ - ٧)$$

الجهد الواقع علي المقاومة R_C يعطي:

$$V_{R_C} = I_C R_C$$

الجهد بين كل من المجمع والباعث يكون علي النحو التالي:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (٤ - ٨)$$

ويمكن حساب تيار المجمع كما يلي:

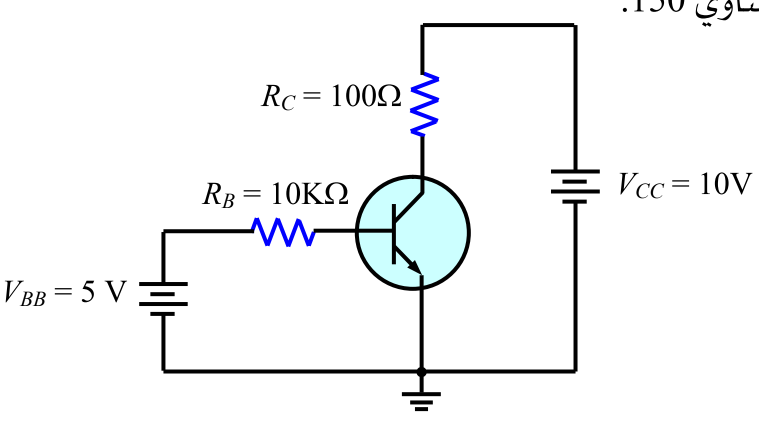
$$I_C = \beta_{dc} I_B$$

والتالي يمكن حساب جهد الإنحياز العكسي عبر وصلة القاعدة – المجمع كما يلي:

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \qquad (٤-٩)$$

مثال ٤ -٢:

أوجد قيمة كل من I_B و I_C وI_E وV_{BE} وV_{CE} وV_{CB} في الدائرة الموضحة بشكل(٤ -٨) علما بأن المعامل β_{dc} للترانزستور تساوي 150.



شكل(٤ -

الحل:

يمكن حساب التيارات I_B وI_C وI_E كالآتي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5V - 0.7V}{10\ K\Omega} = 430\ \mu A$$

$$I_C = \beta_{dc}\ I_B = (150)(430\mu A) = 6405\ mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 64.5mA + 430\ \mu A = 64.9\ mA$$

لحساب كل من V_{CE} وV_{CB} نطبق المعادلات التالية:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C\ R_C = 10V - (64.5mA)(100\Omega) = 10V - 6.45V = 3.55\ V$$

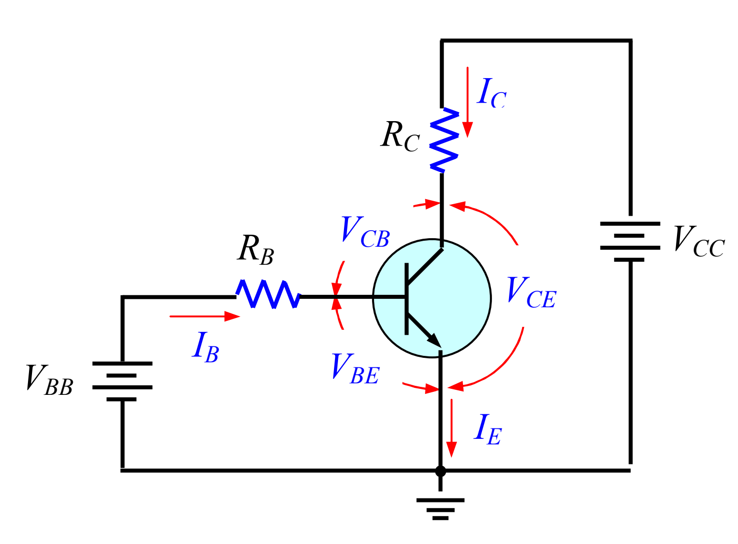
$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3.55\ V - 0.7\ V = 2.85\ V$$

٤ -٤ -٤ منحنيات الخواص للمجمع Collector Characteristic Curves

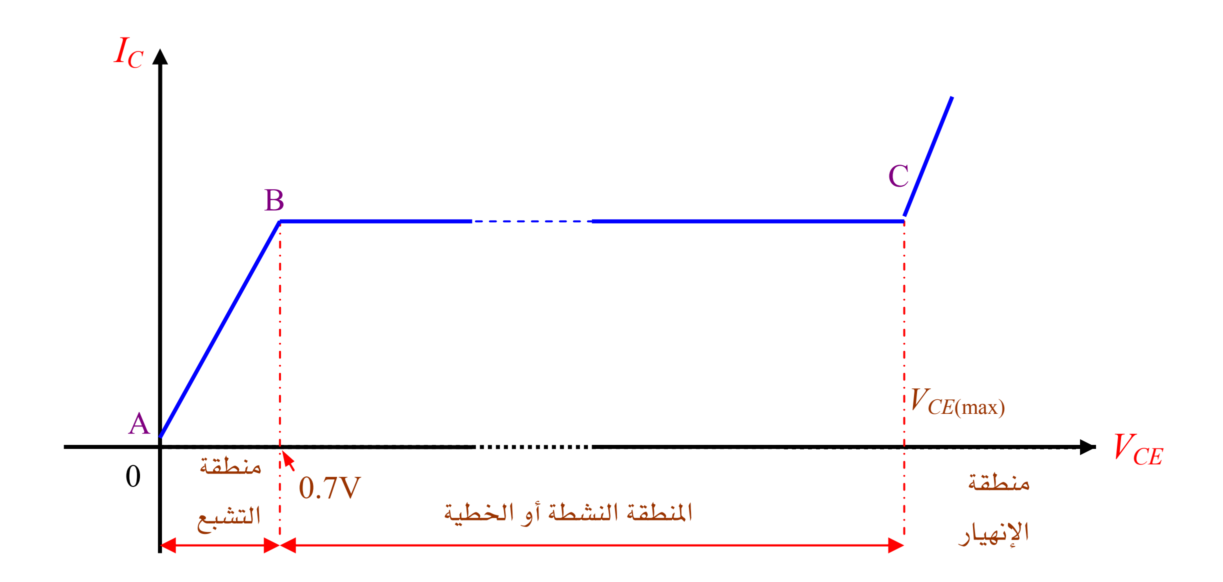
يمكن استخدم الدائرة الموضحة بشكل(٤ -٩) لرسم مجموعة من منحنيات الخواص التي تبين كيفية تغير تيار المجمع I_C مع الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند قيم ثابتة لتيار القاعدة I_B. لاحظ أن مصادر الجهد في الدائرة المستخدمة V_{BB} و V_{CC} ذات جهد متغير القيمة.

لشرح منحني الخواص للمجمع ومناطق تشغيل الترانزستور نتبع التالي:

- يوضع مصدر الجهد المتغير V_{BB} علي وضع يعطي قيمة معينة ثابتة لتيار القاعدة I_B، والجهد V_{CC} يوضع علي الوضع 0V، ونتيجة لهذا الشرط فإن كلاً من وصلة القاعدة - الباعث ووصلة القاعدة -المجمع يصبحا في حالة احياز أمامي، وذلك لأن القاعدة يكون عليها جهد مقداره 0.7V أما كلاً من المجمع والباعث فيكون عليهما جهد مقداره 0V.
- تيار القاعدة يمر من خلال وصلة القاعدة – الباعث (لأن هذا مسار إلي الأرض ذيممانعة منخفضة) وحينئذ تيار المجمع I_C يكون مساوياً الصفر.
- عند زيادة قيمة مصدر الجهد V_{CC} تزداد قيمة الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} بالتدريج نتيجة لزيادة قيمة التيار I_C كما هو مبين علي المنحنى بشكل (٤ -٩) من النقطة A إلي النقطة B .
- تزداد قيمة التيار I_C بزيادة جهد المصدر V_{CC} وذلك لأن V_{CE} يبقي أقل من 0.7V نتيجة الإنحياز الأمامي لوصلة القاعدة - المجمع.



(أ) الدائرة المستخدمة.

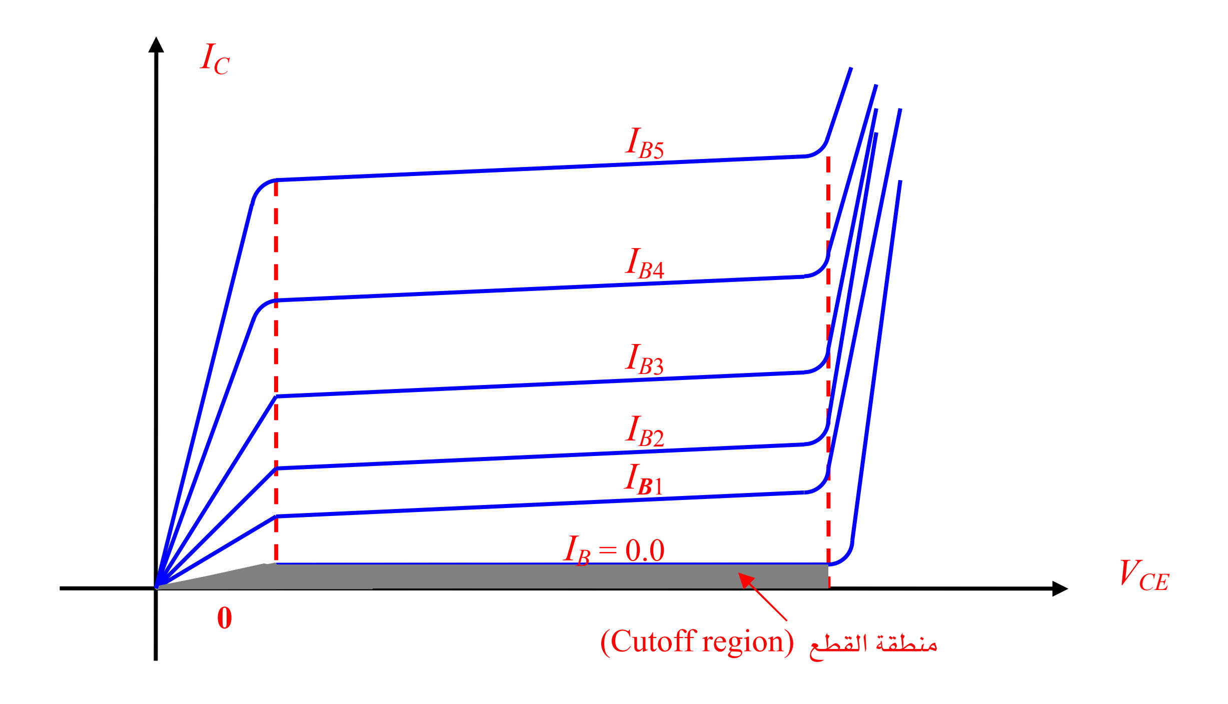


(ب) تغير I_C مع V_{CE} عند قيمة واحدة I_B .

شكل(٤ -٩) يوضح الدائرة المستخدمة ومنحني الخواص

- عندما تزداد الجهد V_{CE} عن القيمة 0.7V، يصبح الاحياز علي وصلة القاعدة - المجمع انحيازاً عكسيا ، وبالتالي يعمل الترانزستور في المنطقة الفعالة أو الخطية حيث تظل قيمة I_C شبه ثابتة لنفس القيمة لتيار القاعدة I_B مع استمرار الزيادة في قيم الجهد V_{CE}.
- والزيادة القليلة لتيار المجمع I_C جاءت نتيجة للاتساع في منطقة الاستنزاف بين القاعدة والمجمع نتيجة الاحياز العكسي.
- وجود عدد قليل من الفجوات للاحاد مع الإلكترونات في منطقة القاعدة يؤدي إلي زيادة طفيفة في قيمة المعامل β_{dc} حيث أن تيار المجمع I_C في الجزء من النقطة B إلي النقطة C للمنحني يعتمد علي قيمة β_{dc} والتي تتحدد بالعلاقة $I_C = \beta_{dc}\, I_B$.
- عندما تزداد قيمة الجهد V_{CE} إلي قيمة عالية، يتجه جهد الإنحياز العكسي لمنطقة القاعدة - المجمع إلي الانهيار، وبالتالي يزيد تيار المجمع بسرعة كما هو واضح علي منحني الخواص بشكل(٤ -٩) في الفترة من C فما فوق، والتي تسمي بمنطقة الانهيار للترانزستور (Breakdown region)
- يمكن الحصول علي مجموعة من منحنيات الخواص للترانزستور كما هو مبين بشكل(٤ -١٠) وذلك بتغيير قيمة تيار القاعدة عند قيم مختلفة.

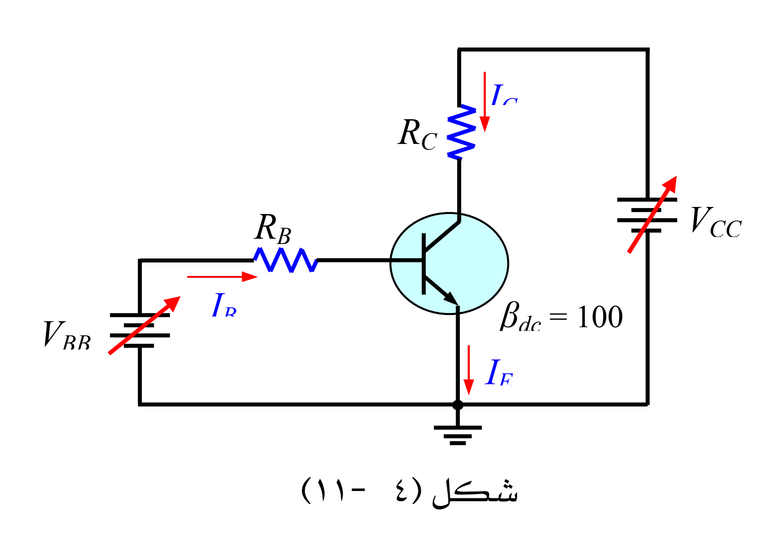
• عندما يكون تيار القاعدة مساوياً الصفر يكون الترانزستور في هذه الحالة في منطقة القطع(Cutoff region) بالرغم من وجود تيار المجمع المتسرب الصغير جداً كما بشكل(٤ -١٠)



شكل(٤ -١٠) يوضح مجموعة من منحنيات خواص المجمع للترانزستور.

مثال٤ -٣:

أرسم مجموعة المنحنيات المثالية للمجمع للدائرة الموضحة بشكل(٤ -١١) عندما يتغير تيار القاعدة I_B من 5μA إلي 25μA بزيادة 5μA في كل مرة مفترضاً أن قيمة المعامل β_{dc} تساوي 100 ولا تزيد قيمة الجهد V_{CE} عن جهد الانهيار.



شكل (٤ -١١)

الحل:

لحل هذا المثال نستخدم العلاقة الآتية لإيجاد تيار المجمع:

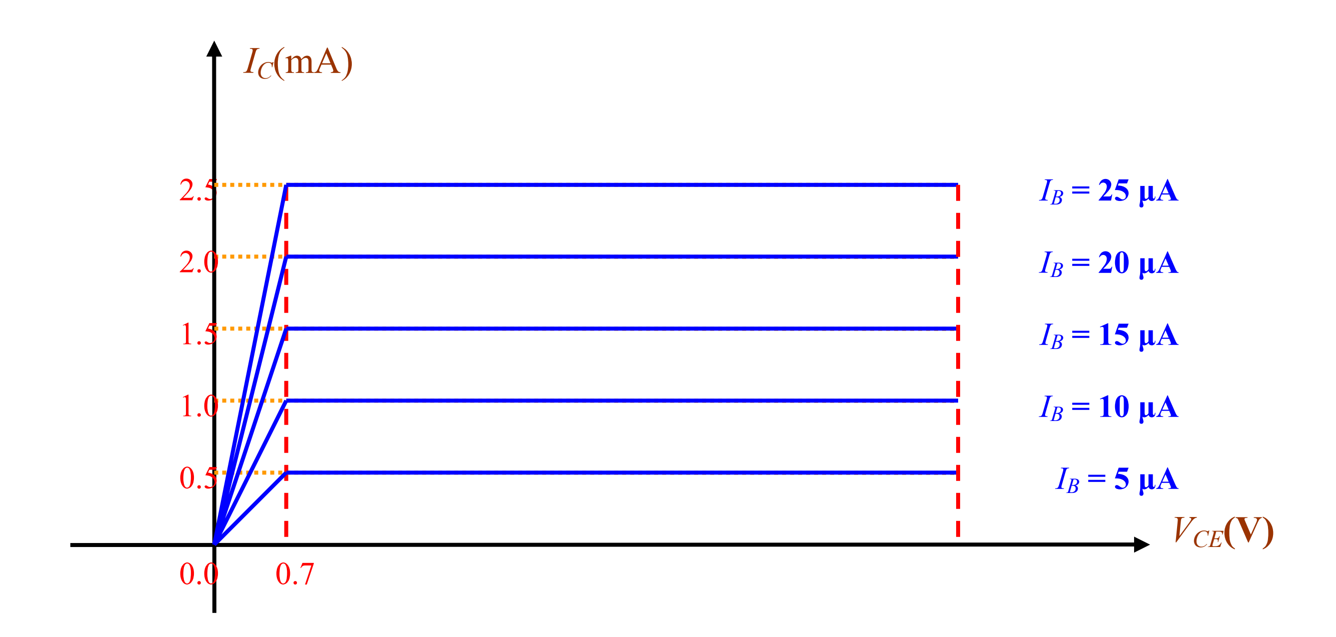
$$I_C = \beta_{dc} I_B$$

ثم يعوض بالقيم المختلفة لتيار I_B في المعادلة السابقة للحصول علي قيم تيار المجمع كما هو موضح بالجدول (٤ -١):

I_B	I_C
5μA	**0.5mA**
10μA	**1.0mA**
15μA	**1.5mA**
20μA	**2.0mA**
25μA	**2.5mA**

جدول(٤ -١)

من الجدول (٤ -١) يمكن رسم المنحنيات المثالية كما هو مبين بالشكل (٤ -١٢):

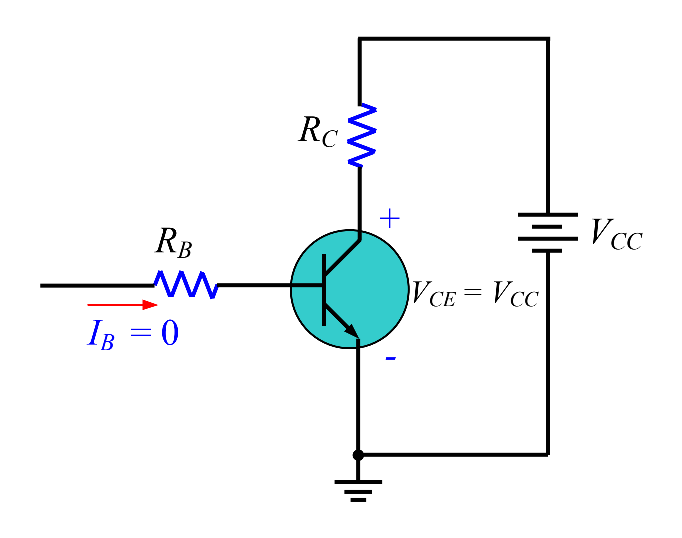


٤ -٤ -٥ مناطق تشغيل الترانزستور Transistor Operation Regions

سوف نتعرف هنا علي مناطق تشغيل الترانزستور، والشروط الواجب توافرها في انحياز وصلات الترانزستور للعمل في هذه المناطق

٤ -٤ -٥ -١ منطقة القطع Cutoff region

كما ذكرنا من قبل عندما يساوي تيار القاعدة I_B الصفر يعمل الترانزستور في منطقة القطع وفي هذه الحالة يكون طرف التوصيل للقاعدة مفتوح كما هو موضح بالشكل(٤ -١٢)، ويكون $V_{CE} = V_{CC}$. في منطقة القطع يكون كلاً من وصلتي القاعدة - الباعث والقاعدة – المجمع في حالة انحياز أمامي.

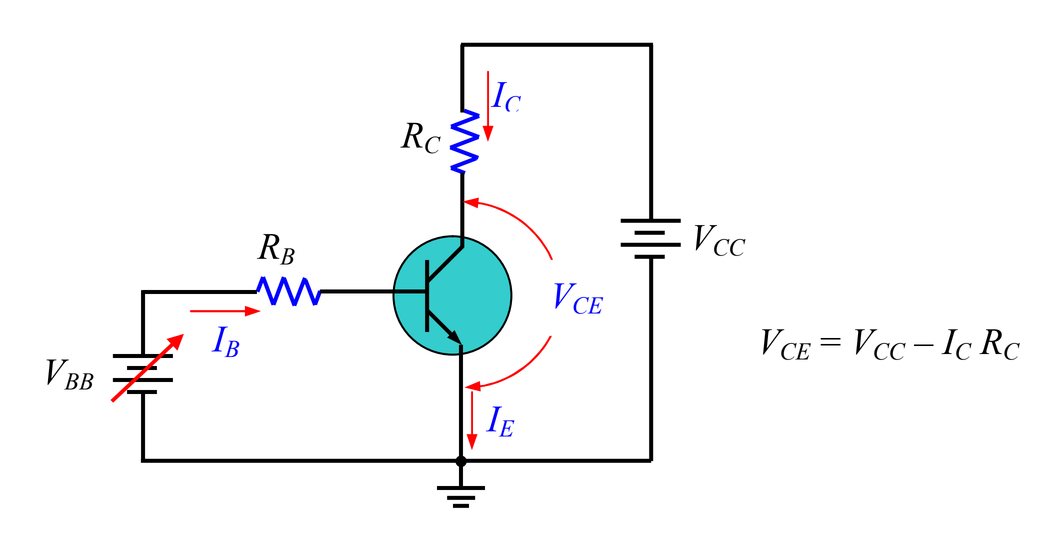


شكل(٤ -١٢) يوضح الإنحياز العكسي لوصلتي القاعدة -المجمع والقاعدة – الباعث في حالة القطع.

٤ -٤ -٥ -٢ منطقة التشبع Saturation region

عندما تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة انحياز أمامي يزداد تيار القاعدة I_B، وتبعا لذلك يزداد تيار المجمع$(I_C = \beta_{dc}\ I_B)$ وتنخفض قيمة الجهد بين المجمع والباعث (V_{CE}) نتيجة لازدياد الجهد الواقع علي مقاومة المجمع$(V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C)$ ، ويتضح ذلك من الرسم بشكل(٤ -١٣).

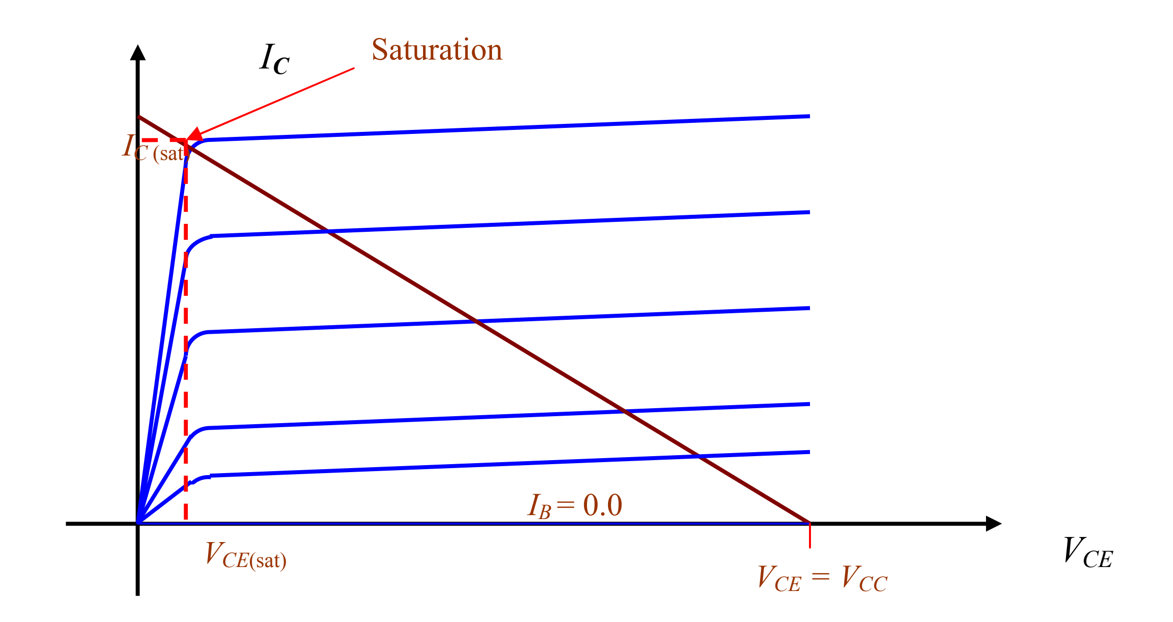
عندما تصل قيمة الجهد V_{CE} إلي جهد التشبع $V_{CE(sat)}$ ، تصبح وصلة القاعدة – المجمع في حالة انحياز أمامي وتزداد قيمة تيار المجمع، ولكن ليس نتيجة زيادة تيار القاعدة I_B حيث العلاقة $I_C = \beta_{dc} I_B$ غير حقيقية في هذه المرحلة.



شكل(٤ -١٣) يبين حالة التشبع للترانزستور

٤ -٤ -٥ -٣ خط الحمل للتيار المستمر DC Load Line

من الممكن توضيح علاقة منطقتي القطع والتشبع بمنحنيات الخواص للمجمع باستخدام خط الحمل. الشكل(٤ -١٤) يبين رسم خط حمل التيار المستمر علي مجموعة من منحنيات الخواص للمجمع حيث يربط بين نقطة القطع والتي عندها تيار المجمع يساوي الصفر والجهد بين المجمع والباعث يساوي قيمة جهد المصدر ($I_C = 0$ and $V_{CE} = V_{CC}$)، ونقطة التشبع التي عندها تيار المجمع يساوي تيار التشبع والجهد بين المجمع والباعث يساوي جهد التشبع ($I_C = I_{C(sat)}$ and $V_{CE} = V_{CE(sat)}$) ، والمنطقة الواقعة بين النقطتين تسمي بالمنطقة النشطة أو الخطية والتي يستخدم الترانزستور فيها كمكبر.



شكل(٤ -١٤) خط الحمل علي مجموعة منحنيات الخواص

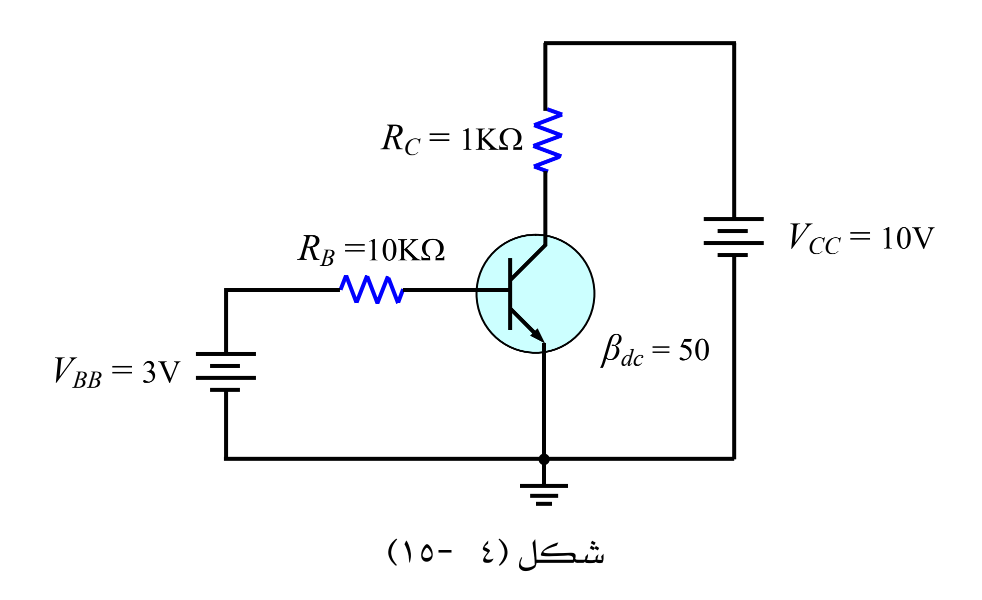
مثال٤ -٤:

أوجد ما إذا كان الترانزستور في حالة تشبع أم لا في شكل(٤ -١٥) مفترضاً أن جهد التشبع $V_{CE(sat)} = 0.2V$.

الحل:

أولا نوجد قيمة تيار التشبع $I_{C(sat)}$ كما يلي:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{10V - 0.2V}{1K\Omega} = \frac{9.8V}{1K\Omega} = 9.8\ mA$$



شكل (٤ -١٥)

ثانيا نوجد قيمة تيار القاعدة I_B كما يلي:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{10K\Omega} = \frac{2.3V}{10K\Omega} = 0.23mA$$

ثالث نوجد قيم تيار المجمع I_C المناظر لتيار القاعدة I_B :

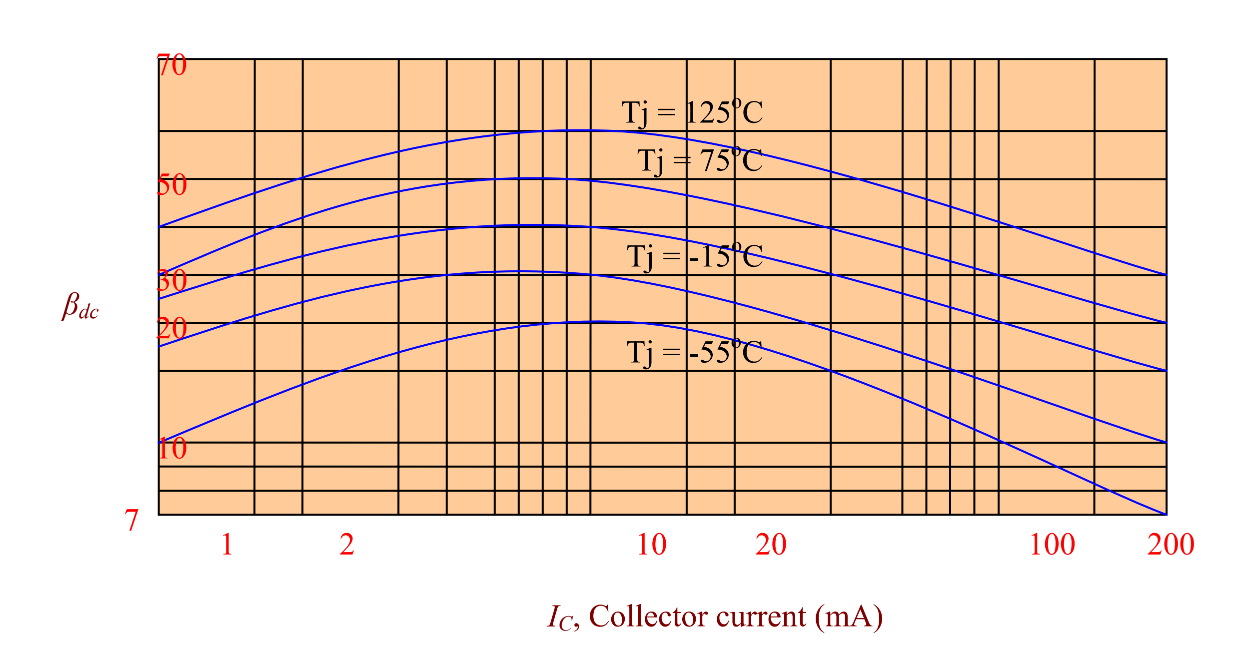
$$I_C = \beta_{dc}\, I_B = (50)(0.23mA) = 11.5mA$$

من التحليل السابق نجد أن تيار المجمع الناتج عن تيار القاعدة والمعامل β_{dc} أكبر من تيار التشبع حيث لا يمكن الوصول إلي قيمته وهي 11.5mA ونتيجة لذلك فالترانزستور في حالة تشبع.

٤ -٣ -٦ علاقة المعامل β_{dc} بكل من تيار المجمع ودرجة الحرارة
Relationship between β_{dc}, Collector current and Temperature

نظراً لأهمية المعامل β_{dc} لترانزستور الوصل ثنائي القطبية لذا سوف نوضح هذه الأهمية من خلال دراسة المنحنيات الموضحة بشكل(٤ -١٦).

من شكل (٤ -١٦) نجد أن المعامل β_{dc} يتغير مع تغير كلا من تيار المجمع ودرجة الحرارة، فعند ثبات درجة الحرارة نجد أن هذا المعامل يزداد عند زيادة تيار المجمع إلي أن يصل إلي قيمة قصوي ثم يقل بعد ذلك، وقيمته تزداد مع تغير درجة الحرارة وثبات تيار القاعدة مما يؤثر علي نقطة تشغيل الترانزستور.



شكل(٤ -١٦) يوضح تغير β_{dc} مع تيار القاعدة عند درجات حرارة

أسئلة وتمارين علي الوحدة الرابعة

١ - عرف نوعي الترانزستور ثنائي القطبية نسبة إلي تركيبهما.

٢ - عرف الأطراف الثلاثة لترانزستور الوصلة ثنائي القطبية.

٣ - ما الذي يفصل بين مناطق الترانزستور الثلاث.

٤ - أذكر شروط الإنحياز لوصلتي القاعدة -الباعث والقاعدة –المجمع للترانزستور للعمل كمكبر؟

٥ - ما هو أكبر التيارات قيمة للترانزستور ثنائي القطبية؟

٦ - هل قيمة تيار القاعدة أصغر من أو أكبر من تيار الباعث؟

٧ - هل منطقة القاعدة أعرض من أو أضيق من منطقتي المجمع والباعث؟

٨ - إذا كان تيار المجمع يساوي 1mA وتيار القاعدة يساوي 10μA أوجد قيمة تيار الباعث؟

٩ - ترانزستور له β_{dc}=200 أوجد قيمة تيار المجمع عندما يكون تيار القاعدة يساوي 50μA واحسب قيمة المعامل α_{dc}؟

١٠ - أوجد قيمة كل من $I_B, I_C, I_E, V_{CE}, V_{CB}$ في شكل(٤ -٨) للقيم الآتية:

. $R_B = 22K\Omega, R_C = 220\Omega, V_{BB} = 6V, V_{CC} = 9V, \beta_{dc}=90$

١١ - أوجد ما إذا كان الترانزستور الموجود بشكل(٤ -١٥) في حالة تشبع أم لا مع القيم التالية:

. $\beta_{dc} = 125, V_{BB} =1.5V, R_B = 6.8K\Omega, R_C = 180\Omega, V_{CC} = 12V$

١٢ - عرف كلا من β_{dc} و α_{dc}.

١٣ - إذا كان معامل الكسب للتيار المستمر للترانزستور يساوي100 أوجد كلا من β_{dc} و α_{dc} .

١٤ - ما هي المتغيرات الموجودة علي منحني الخواص للمجمع؟

١٥ - هل المعامل β_{dc} يزداد أم يتناقص مع درجة الحرارة؟

تطبيقات الترانزستور

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- معرفة كيفية استخدام الترانزستور كمكبر .
- معرفة الدائرة المكافئة للترانزستور في حالة التيار المتردد.
- معرفة كيفية استخدام الترانزستور كمفتاح إلكتروني.

٥ -١ مقدمة Introduction

يعتبر الترانزستور ثنائي القطبية من أهم العناصر التي تستخدم في تصميم وبناء الدوائر الإلكترونية حيث يتميز بخاصية هامة وهي تكبير الإشارات. ولقد علمنا من دراستنا في الوحدة السابقة أن الترانزستور قد أظهر تكبير للتيار حينما يعمل في المنطقة النشطة أو الخطية، وذلك عندما يكون انحياز وصلة القاعدة -الباعث انحيازاً أمامياً ويكون انحياز وصلة القاعدة – المجمع انحيازاً عكسياً.

في هذه الوحدة سوف نتناول بالبحث والدراسة تطبيقات الترانزستور في مناطق تشغيله المختلفة وهي كما يلي:

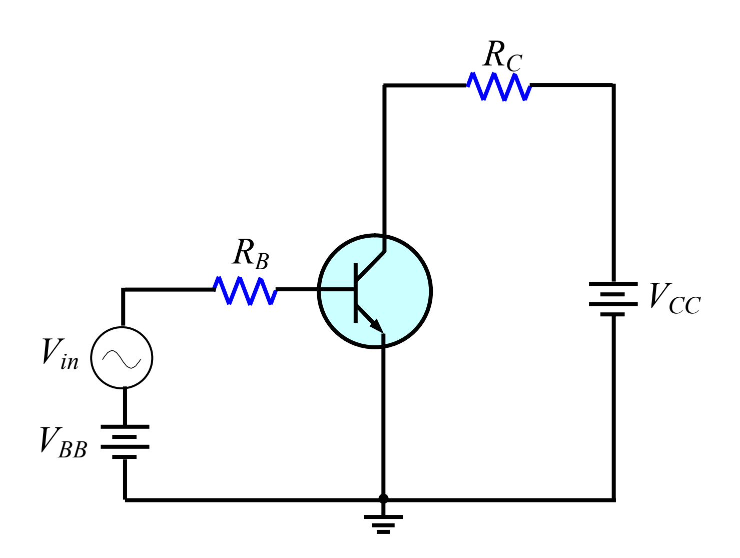
- الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر يعمل في المنطقة النشطة أو الخطية.
- الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح إلكتروني، حيث يعمل الترانزستور في منطقتين هما منطقة القطع ومنطقة التشبع.

٥ -٢ الترانزستور ثنائي القطبية كمكبر The Bipolar Transistor as an Amplifier

- تكبير الترانزستور Transistor Amplification

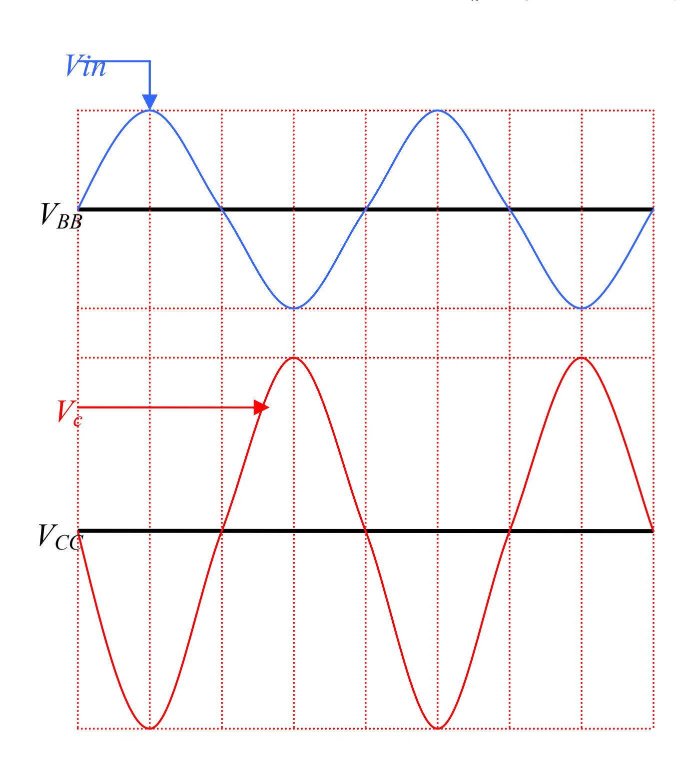
من الدراسة التي تمت في الوحدة الرابعة علمنا أن الترانزستور ثنائي القطبية يكبر التيار لأن تيار المجمع يساوي تيار القاعدة مضروباً في كسب التيار $(I_C = \beta_{dc} I_B)$، وحيث أن تيار القاعدة صغير جداً بالمقارنة بتياري المجمع والباعث فإن تيار المجمع يساوي تقريباً تيار الباعث.

من هذا المنطلق سوف نقوم بدراسة الدائرة الأساسية للترانزستور كمكبر والموضحة بشكل (٥ -١)، حيث تم إضافة مصدر جهد متردد V_{in} إلي جهد المصدر المستمر V_{BB} بتوصيلهما علي التوالي مع مقاومة القاعدة R_B وتوصيل جهد المصدر المستمر V_{CC} إلي المجمع عن طريق مقاومة المجمع R_C.



شكل(٥ -١) الدائرة الأساسية للمكبر مع جهد الدخل

الجهد المتردد للدخل ينتج عنه تيار القاعدة المتردد ونتيجة لذلك نحصل علي تيار المجمع المتردد عالي القيمة وبذلك يتكون جهد متردد عبر المقاومة R_C حيث يكون مكبراً وبزاوية طور مقدارها 180° عكس اتجاه جهد الدخل المتردد كما هو مبين في شكل(٥ -٢).



شكل(٥ -٢) يوضح إشارتي الدخل والخرج علي

* الدائرة المكافئة في حالة التيار المتردد AC Equivalent Circuit

في هذه الحالة يظهر جهد التيار المستمر كدائرة قصر بالنسبة لجهد التيار المتردد، وبالتالي يمكن تمثيل الدائرة المكافئة في حالة التيار المتردد كما هو موضح بشكل(٥ -٣) حيث تم استبدال كل من V_{BB}, V_{CC} بدوائر قصر.

وصلة القاعدة – الباعث ذات الانحياز الأمامي لها مقاومة منخفضة جداً لإشارة التيار المتردد تسمي بالمقاومة الداخلية للمشع وتمثل بالرمز r'_e وبالتالي يمكن إيجاد تيار الباعث المتردد كما يلي:

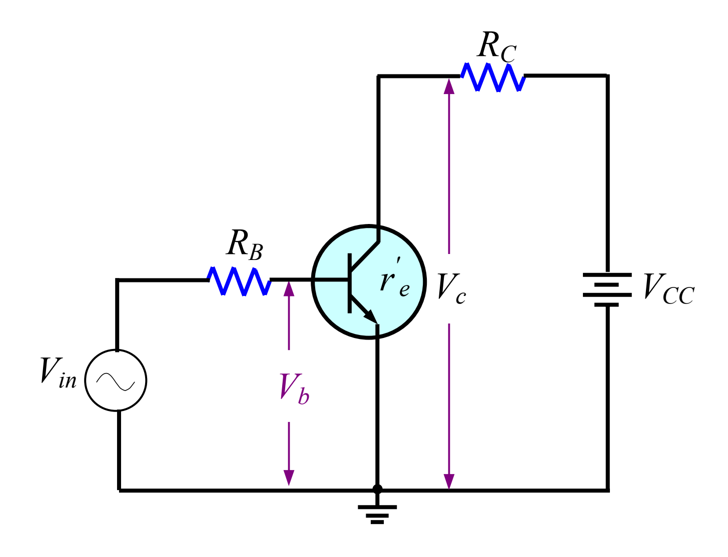
$$I_e = \frac{V_b}{r'_e} \qquad (٥ \ -١)$$

جهد المجمع المتردد V_c يساوي الجهد المتردد الواقع علي المقاومة R_C ويعطي بالمعادلة:

$$V_c = I_c R_C \qquad (٥ \ -٢)$$

وحيث أن تيار الباعث I_e يساوي تقريباً تيار المجمع I_c بالتالي يكون جهد المجمع المتردد يساوي:

$$V_c \cong I_e R_C \qquad (٥ \ -٣)$$



شكل(٥ -٣) الدائرة المكافئة في حالة التيار المتردد.

جهد القاعدة V_b يمكن اعتباره هو جهد الدخل المتردد للترانزستور حيث يمكن حسابه كما يلي:

$$V_b = V_{in} - I_b R_B \qquad (٥ \ -٤)$$

الجهد V_c هو جهد الخرج المتردد بالنسبة للترانزستور وبالتالي يمكن تعريف كسب الجهد المتردد A_v علي أنه النسبة بين الجهد V_c والجهد V_b

$$A_v = \frac{V_c}{V_b} \cong \frac{I_e R_C}{I_e r'_e} \qquad (٥-٥)$$

وبالتالي:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} \qquad (٥-٦)$$

المعادلة(٥ -٦) تشير إلي أن التكبير أو كسب الجهد للترانزستور الموجود بشكل(٥ -١) يعتمد علي كل من المقاومة R_C والمقاومة الداخلية للمشع r'_e ، وحيث أن قيمة المقاومة R_C عادة أكبر من المقاومة r'_e، فإن جهد الخرج يكون دائما أعلي من جهد الدخل.

مثال ٥ -١:

أوجد قيمة كسب الجهد وجهد الخرج المتردد في شكل(٥ -٤) إذا كانت قيمة المقاومة الداخلية للمشع $r'_e = 50\Omega$.

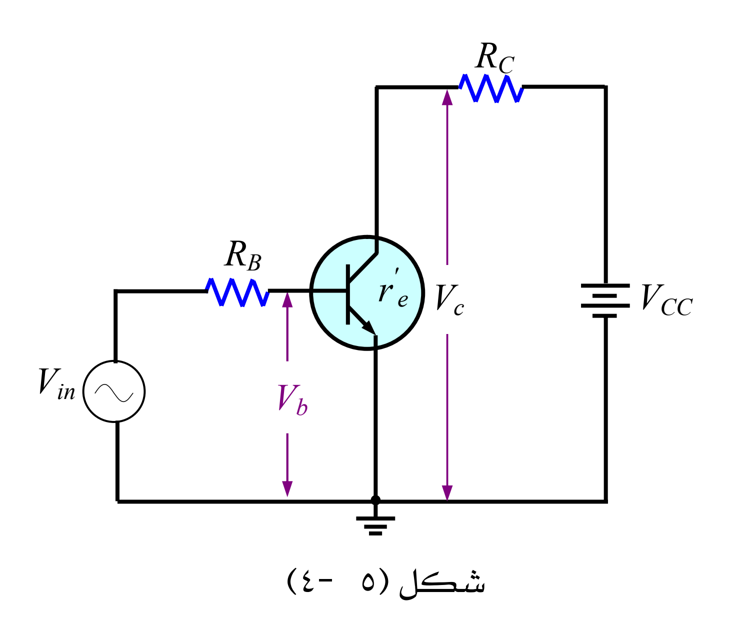
الحل:

كسب الجهد المتردد يعطي كما يلي:

$$A_v \cong \frac{R_C}{r'_e} = \frac{1\text{K}\Omega}{50\Omega} = 20$$

وبالتالي يكون جهد الخرج المتردد:

$$V_{out} = A_v V_b = (20)(100\text{mV}) = 2\text{V} \;\; rms$$



شكل (٥ -٤)

٥ -٣ الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح The Bipolar Transistor as a Switch

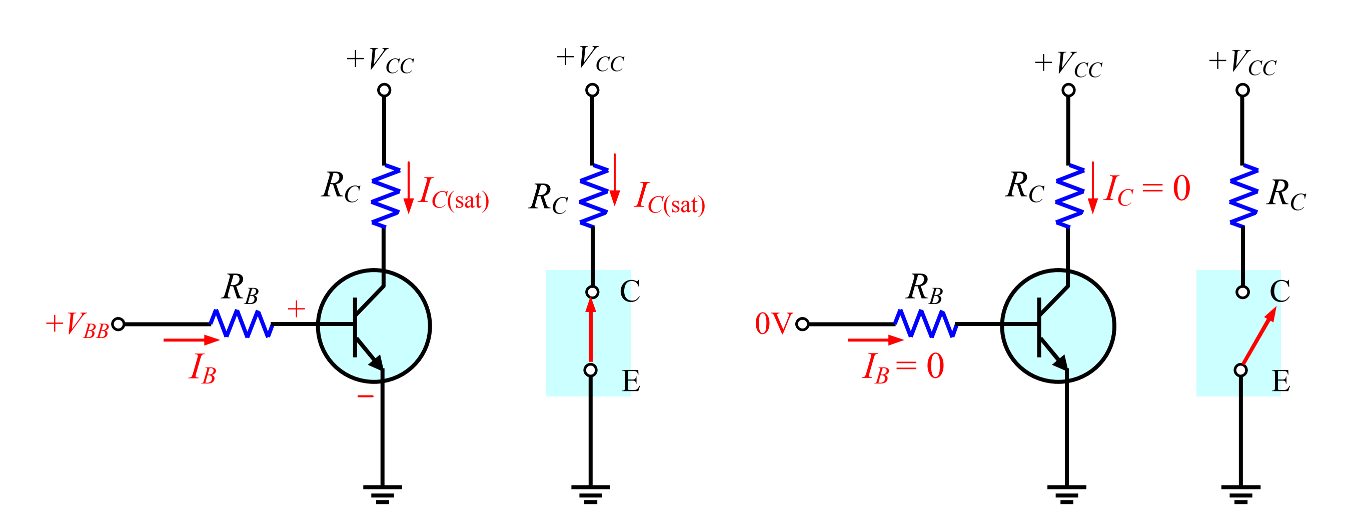
يعتبر تشغيل الترانزستور كمفتاح إلكتروني من أهم تطبيقات الترانزستور في الدوائر الإلكترونية وخصوصاً الدوائر الرقمية حيث يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع.

في هذا الجزء سوف نتناول بالدراسة النقاط التالية:

- دراسة كيفية استخدام الترانزستور ثنائي القطبية كمفتاح إلكتروني.
- تحليل الترانزستور كدائرة تحويل للقطع والتشبع.
- وصف الشروط التي تؤدي إلي حالة القطع.
- وصف الشروط التي تؤدي للتشبع.
- دراسة تطبيق أساسي للترانزستور كدائرة تحويل.

شكل(٥ -٥) يوضح العمل الأساسي للترانزستور كمفتاح، و الجزء (أ) من الرسم يوضح أن الترانزستور في منطقة القطع لأن وصلة القاعدة - الباعث ليست في حالة انحياز أمامي وتمثل هذه الحالة بمفتاح في حالة فتح، كما هو موضح بالشكل.

في الجزء (ب) الترانزستور يعمل في منطقة التشبع لأن وصلة القاعدة -الباعث ووصلة القاعدة – المجمع في حالة انحياز أمامي وتيار القاعدة عالي بما يكفي لوصول تيار المجمع إلي التشبع وتمثل هذه الحالة بمفتاح مغلق، كما هو موضح بالشكل.



(ب) التشبع - مفتاح مغلق (أ) القطع – مفتاح مفتوح

شكل (٥ -٥) الترانزستور كمفتاح مثالي.

- شروط القطع **Conditions in Cutoff**

مما سبق دراسته نجد أن الترانزستور يصل إلي منطقة القطع عندما تكون وصلة القاعدة – الباعث في حالة عدم انحياز أمامي، وبإهمال تيار التسرب فإن جميع التيارات تساوي الصفر والجهد V_{CE} يساوي جهد المصدر V_{CC}.

$$V_{CE(cutoff)} = V_{CC} \qquad (٥ \ -٢)$$

- شروط التشبع **Conditions in Saturation**

من دراستنا السابقة نجد أن الترانزستور يصل إلي منطقة التشبع إذا كانت وصلة القاعدة - الباعث في حالة انحياز أمامي وقيمة تيار القاعدة عالية بما يكفي لوصول تيار المجمع إلي أقصي قيمة، وتيار التشبع يعطي بالمعادلة التالية:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} \qquad (٥ \ -٣)$$

قيمة الجهد $V_{CE(sat)}$ تكون صغير جداً بالمقارنة بقيمة جهد المصدر V_{CC} وفي العادة يتم إهمالها.

القيمة الصغرى لتيار القاعدة التي ينتج عندها التشبع تعطي بالعلاقة التالية:

$$I_{B(\min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} \qquad (٥ \ -٣)$$

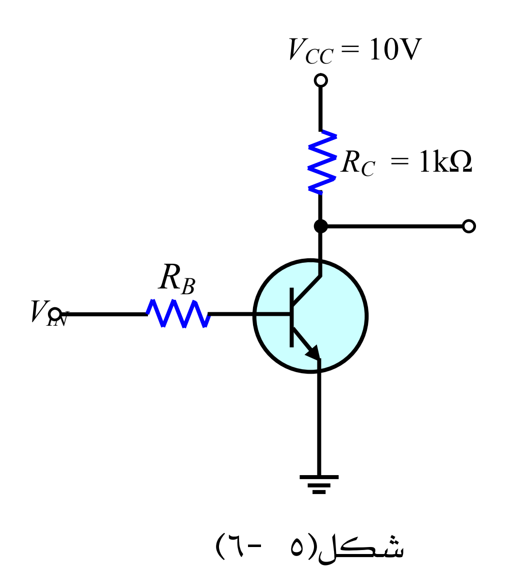
للتأكد من الوصول لمنطقة التشبع لابد أن يكون I_B أعلي من $I_{B(\min)}$.

مثال٥ -٢:

(أ) للترانزستور الموجود في الدائرة شكل(٥ -٦)، ما قيمة V_{CE}عندما تكون قيمة $V_{IN} = 0$ ؟

(ب) ما هي القيمة الصغرى للتيار I_B المطلوبة لتشبع الترانزستور عندما يكون $\beta_{dc} = 200$ مع إهمال قيمة $V_{CE(sat)}$؟

(جـ) احسب أقصي قيمة للمقاومة R_B عندما يكون $V_{IN} = 5V$.



شكل(٥ -٦)

الحل:

(أ) عندما يكون $V_{IN} = 0V$ يصبح الترانزستور في منطقة القطع وبالتالي يعمل كأنه مفتاح مفتوح وبالتالي:

$$V_{CE} = V_{CC} = 10V$$

(ب) حيث أن $V_{CE(sat)}$ مهملة أي تساوي الصفر

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10V}{1K\Omega} = 10mA$$

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{10mA}{200} = 50\mu A$$

(جـ) لحساب أقصي قيمة للمقاومة R_B للحصول علي أقل قيمة للتيار وهي 50μA :

$$V_{R_B} = V_{IN} - V_{BE} = 5V - 0.7V = 4.3V$$

$$R_{B(max)} = \frac{V_{R_B}}{I_{B(min)}} = \frac{4.3V}{50\mu A} = 86k\Omega$$

أسئلة وتمارين علي الوحدة الخامسة

٥ -١ ما هو التكبير؟

٥ -٢ كيف يمكن تعريف كسب الجهد؟

٥ -٣ عرف معاملين لإيجاد كسب الجهد لمكبر.

٥ -٤ ما هو كسب الجهد لترانزستور مكبر له جهد خرج يساوي 5V rms وجهد دخل يساوي 250mV rms ؟

٥ -٥ الترانزستور الموصل بشكل(٥ -٤) له مقاومة داخلية للمشع $r'_e = 20\Omega$. إذا كان $R_C = 1200\Omega$ أوجد قيمة كسب الجهد.

٥ -٦ متي يستخدم الترانزستور كمفتاح، وفي أي الحالات يعمل؟

٥ -٧ متي تكون قيمة تيار المجمع أكبر ما يمكن؟

٥ -٨ تحت أي شروط تكون $V_{CE} = V_{CC}$.

٥ -٩ متي تصل قيمة تيار المجمع تقريباً إلي الصفر؟

٥ -١٠ متي تكون قيمة V_{CE} أقل ما يمكن؟

٥ -١١ شرط الانحياز للترانزستور للعمل كمكبر يسمي:

(أ) أمامي -عكسي (ب) أمامي - أمامي (جـ) عكسي – عكسي (د)انحياز القاعدة

٥ -١٢ إذا كان جهد خرج مكبر الترانزستور 5V (rms) وجهد الدخل 100mV يكون كسب الجهد:

(أ) 5 (ب) 500 (جـ) 50 (د) 100

٥ -١٣ عندما يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع فإنه يمثل:

(أ) مكبر خطي (ب) مفتاح (جـ)مكثف متغير (د) مقاومة متغيرة

٥ -١٤ في منطقة القطع الجهد V_{CE} يكون:

(أ) 0V (ب) يساوي V_{CC} (جـ) أقل ما يمكن (د) أكبر ما يمكن

(هـ) الإجابات (أ) و (جـ) (و) الإجابات (ب) و (د)

٥ -١٥ في منطقة التشبع الجهد V_{CE} يكون:

(أ) 0.7V (ب) يساوي V_{CC} (جـ) أقل ما يمكن (د) أكبر ما يمكن

٥ -١٦ للوصول إلي منطقة التشبع للترانزستور ثنائي القطبية يجب أن يكون:

(أ) $I_B = I_{C(sat)}$ (ب) $I_B > I_{C(sat)}/ \beta_{dc}$ (جـ) V_{CC} يجب أن يكون علي الأقل 10V

(د) الباعث يجب أن يتصل بالأرضي

٥ ١٧- حينما نصل إلي منطقة التشبع فإن الزيادة المطردة في تيار القاعدة سوف تؤدي إلي:

(أ) حدوث زيادة في تيار المجمع. (ب) لا تؤثر في تيار المجمع. (جـ) حدوث نقصان في تيار المجمع. (د) انتقال الترانزستور إلي منطقة القطع.

٥ ١٨- إذا كانت وصلة القاعدة – الباعث مفتوحة يكون جهد المجمع:

(أ) V_{CC} (ب) 0V (جـ) 0.2 V (د)عائم (Floating)

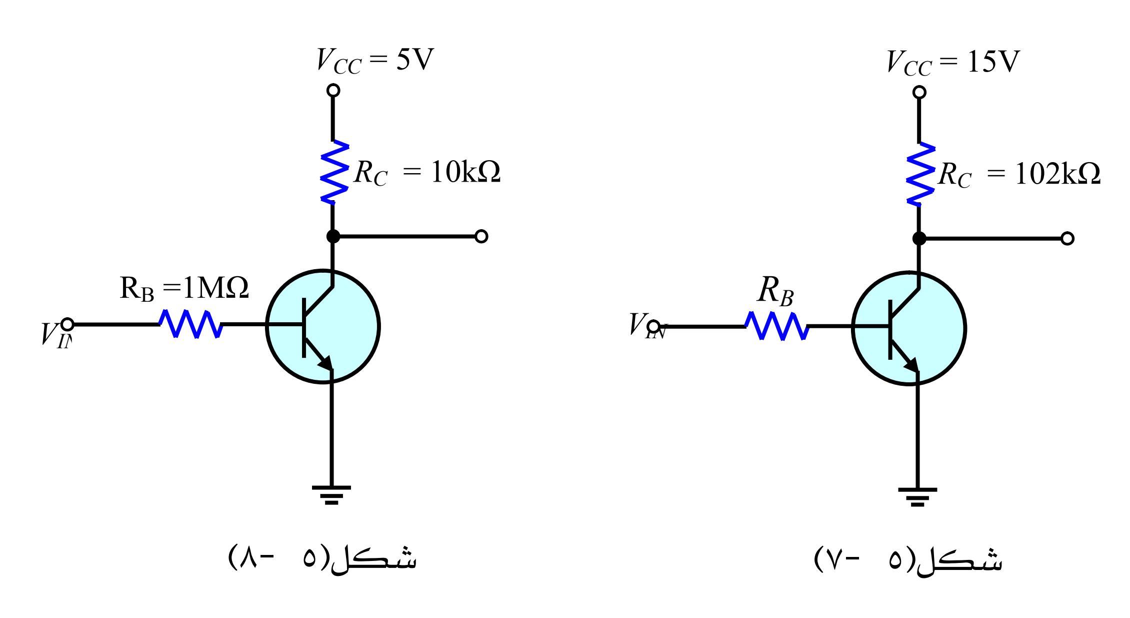
٥ ١٩- ترانزستور مكبر له كسب جهد مقداره 50 ما قيمة جهد الخرج إذا كان جهد الدخل يساوي 100mV ؟

٥ ٢٠- ما هو كسب الجهد المطلوب للحصول علي خرج مقداره 10V وجهد دخل مقداره 300mV ؟

٥ ٢١- أوجد إشارة الجهد علي المجمع عند تطبيق إشارة مقدارها 50mV علي القاعدة مع وجود انحياز مناسب لترانزستور له مقاومة داخلية للمشع $r'_e = 10\Omega$ و مقاومة $R_C = 560\Omega$.

٥ ٢٢- أوجد قيمة $I_{C(sat)}$ للترانزستور الموضح بشكل(٥ -٧). ما هي قيمة التيار I_B الضروري لوصول الترانزستور إلي منطقة التشبع ؟ ما هي القيمة الصغرى لجهد الدخل V_{IN} الضرورية للوصول إلي هذه المنطقة ؟ افترض أن قيمة $V_{CE(sat)} = 0V$.

٥ ٢٣- أوجد قيمة المقاومة R_B للترانزستور بشكل(٥ -٨) الذي له $\beta_{dc} = 50$ المطلوبة لوصول الترانزستور إلي منطقة التشبع عندما يكون $V_{IN} = 5V$. ما هي قيمة الجهد V_{IN} لوصول الترانزستور إلي منطقة القطع؟



شكل(٥ -٨) شكل(٥ -٧)

تركيبات الترانزستور

تركيبات الترانزستور

٦

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- كيفية رسم خط الحمل في حالة التيار المستمر.
- كيفية تحديد نقطة التشغيل للترانزستور.
- معرفة دوائر الانحياز المختلفة للترانزستور.
- معرفة أنواع التركيبات المختلفة لدوائر الترانزستور.
- كيفية تحليل دوائر المكبرات في حالتي التيار المستمر والمتردد.
- معرفة صيغة كل من مقاومة الدخل والخرج وكسب الجهد والتيار، للتركيبات المختلفة لدوائر الترانزستور.

٦ -١ مقدمة Introduction

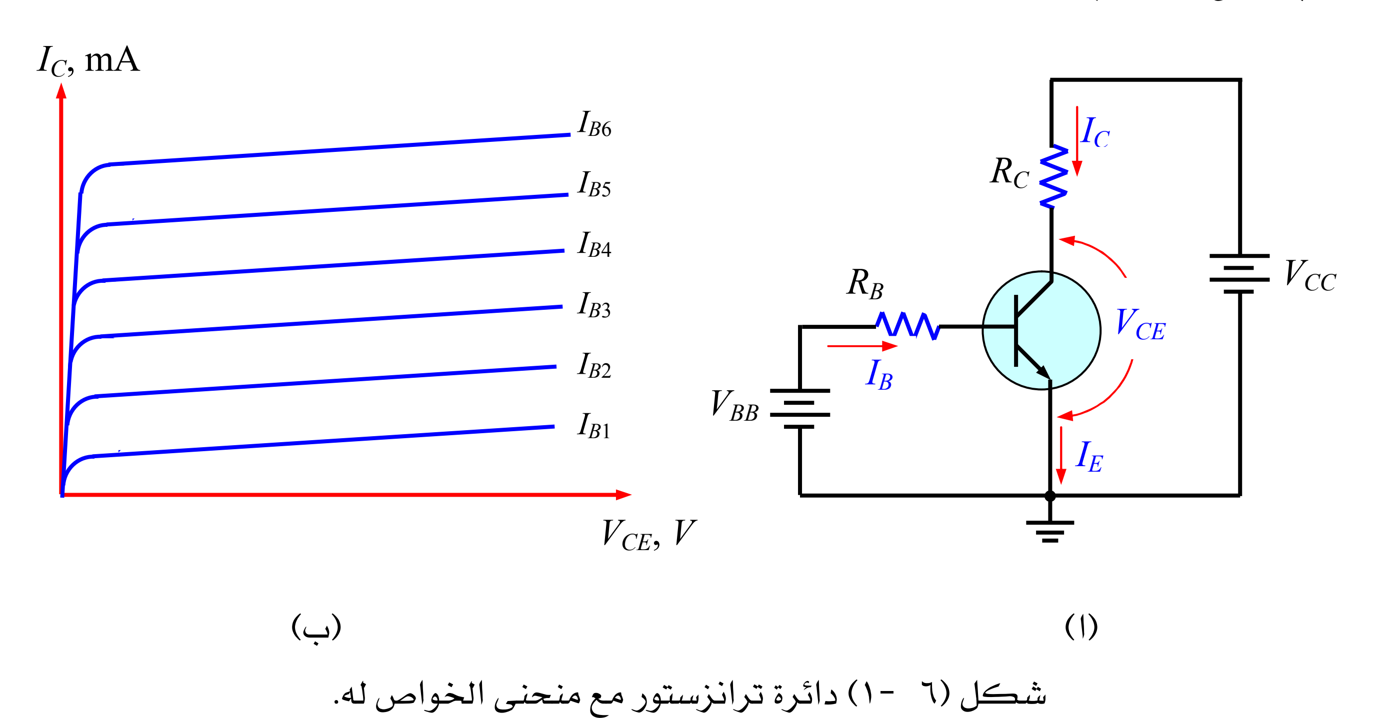
في هذه الوحدة سوف نقوم بدراسة عدد من دوائر الانحياز للترانزستور ومن خلال عملية الانحياز للترانزستور يمكن تحديد منطقة التشغيل وبالتالي تحديد الوظيفة التي يؤديها الترانزستور في الدائرة. والمقصود بعملية الانحياز هو اختيار مكان نقطة التشغيل للترانزستور وذلك عن طريق تحديد القيم الثابتة للجهد والتيار. وسوف نتعرف أيضاً على الأنواع المختلفة لتركيبات الترانزستور .

٦ -٢ نقطة التشغيل في حالة التيار المستمر DC Operating Point

كما ذكرنا سابقا فإن المقصود بعملية الانحياز هو تحقيق شرط معين بالنسبة للجهد والتيار، وتحديد المكان السليم لنقطة التشغيل يتحقق بالاختيار الدقيق لقيمة التيار I_C والجهد V_{CE} ، وهذه القيم تعتمد على مصادر الجهد ذو التيار المستمر الموجودة في دائرة الترانزستور. ونقطة التشغيل في حالة التيار المستمر غالباً ما يرمز لها بالنقطة Q.

- خط الحمل للتيار المستمر DC Load Line

بفرض أن الترانزستور بالدائرة المبينة في شكل (٦ -١أ) له منحنيات خواص الخرج الموضحة بشكل (٦ -١ب).



شكل (٦ -١) دائرة ترانزستور مع منحنى الخواص له.

عند تطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة المجمع -الباعث نحصل على العلاقة الآتية:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \qquad (٦ -١)$$

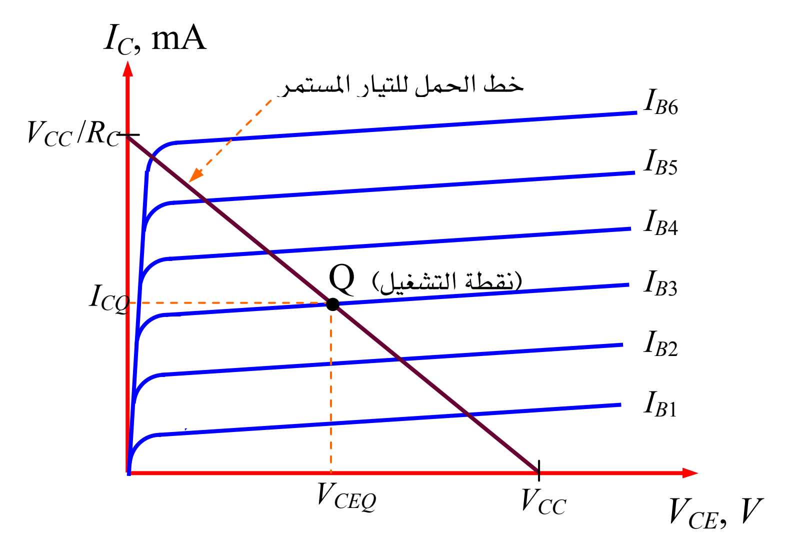
ولرسم خط الحمل المعطي بالمعادلة (٦ -١) علي منحني الخواص الموضح بالشكل (٦ -١ب)، فإن هذا الخط يتقاطع مع المحور الذي يمثل التيار I_C عندما يكون الجهد $V_{CE} = 0$ أي عندما يكون:

$$I_C = V_{CC} / R_C \qquad (٦\ -٢)$$

كما يتقاطع مع محور الجهد V_{CE} عندما يكون التيار $I_C = 0$ أي عندما يكون:

$$V_{CE} = V_{CC} \qquad (٦\ -٣)$$

برسم خط الحمل علي منحني الخواص، نلاحظ أن نقطة تقاطع الخط مع المنحنى تعتمد علي قيمة التيار I_B والتي تحدد من خلال ضبط قيمة الجهد V_{BB}. بفرض أن قيمة الجهد V_{BB} قد ضبطت لجعل قيمة التيار I_B تساوي القيمة I_{B3}، فإن موقع نقطة التشغيل يكون كالمبين بشكل (٦ -٢).



شكل (٦ -٢) خط الحمل للتيار المستمر ونقطة

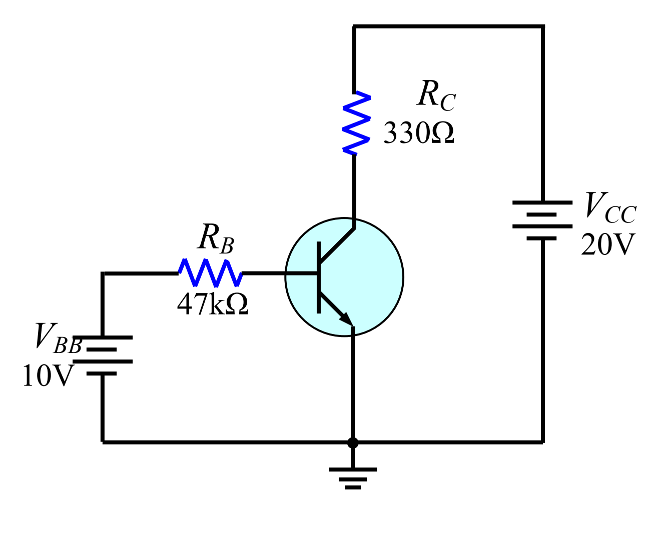
في حالة استخدام الترانزستور كمكبر يجب ضبط قيمة الجهد V_{BB} للحصول علي قيمة التيار I_B اللازمة لوضع نقطة التشغيل في منتصف خط الحمل، وذلك للحصول علي أقصي أرجحة متماثلة لنقطة التشغيل عند تطبيق الإشارة المراد تكبيرها علي دخل دائرة الترانزستور، وبالتالي الحصول علي أقصي تكبير ممكن بدون أي تشوهات في شكل إشارة الخرج. ولذلك فإنه يجب مراعاة عدم تأثر موضع نقطة التشغيل إلا بالتغيرات التي تحدث في الإشارة المراد تكبيرها.

مثال (٦ -١):

حدد نقطة التشغيل للترانزستور في شكل (٦ -٣) بفرض أن $\beta_{dc} = 200$.

الحل:

نقطة التشغيل تعرف بقيم كل من I_C ، V_{CE}. ويمكن الحصول على هذه القيم كالآتي:



شكل (٦ -

$$\because I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{47\text{k}\Omega} = 198\mu\text{A}$$

$$\therefore I_C = \beta_{dc} I_B = (200)(198\mu\text{A}) = 39.6\text{mA}$$

$$\therefore V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 20\text{V} - 13.07\text{V} = 6.93\text{V}$$

٦ -٣ انحياز القاعدة Base Bias

وجدنا أن مصدر الجهد المستمر V_{BB} قد استخدم لانحياز وصلة القاعدة -الباعث وذلك لتحديد نمط تشغيل الترانزستور وبالتالي فإنه يجب التحكم في قيمة هذا الجهد بدون تأثير الجهد V_{CC}.

وهناك طريقة، وهي الأكثر استخداماً في الحياة العملية، حيث يستخدم الجهد V_{CC} كمصدر جهد انحياز وحيد كما هو موضح بالشكل (٦ -٤أ).

ولتبسيط رسم الدائرة، يمكن حذف رمز البطارية ويوضع بدلاً منه خط في نهايته دائرة صغيرة (line termination circle)، كما هو موضح بالشكل (٦ -٤ب). ويمكن تحليل الدائرة كما يلي:

الجهد المطبق على المقاومة R_B يكون $V_{CC} - V_{BE}$ وبناءاً على ذلك:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \qquad (٦ \ -٢)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للجهد حول دائرة المجمع في شكل (٦ -٤أ)، يعطي هذه المعادلة:

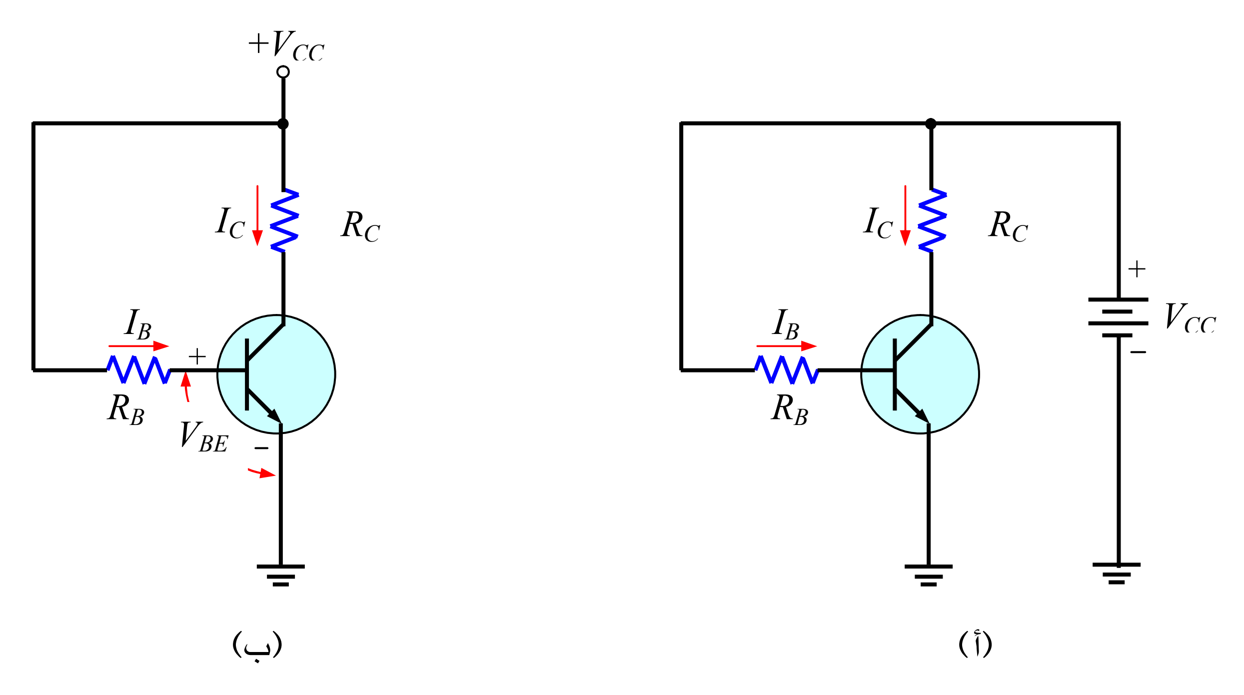
$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

وبحل المعادلة بالنسبة إلي V_{CE} نحصل على:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (٦ \ -٣)$$

وباستخدام المعادلة (٦ -٢) للتعويض عن قيمة التيار I_B بالمعادلة $I_C = \beta_{dc} I_B$ نحصل على:

$$I_C = \beta_{dc}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right) \qquad (٦ \ -٤)$$



شكل (٦ -٤) انحياز القاعدة.

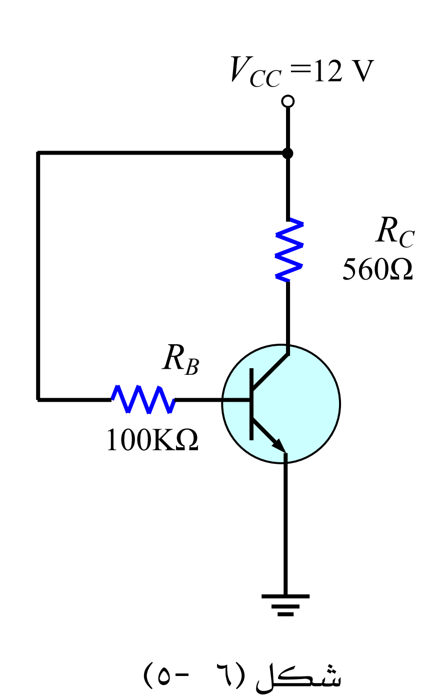
- تأثير β_{dc} على نقطة التشغيل (Q) Effect of β_{dc} on the Q-point

بالنظر إلي المعادلة (٦ -٤) نجد أن التيار I_C يعتمد على القيمة β_{dc}، وبالتالي فإن أي تغير في β_{dc} يحدث تغير في كل من I_C، V_{CE}، وعلى ذلك تتغير نقطة التشغيل للترانزستور.

ومن المعروف أن β_{dc} تتغير مع درجة الحرارة وتيار المجمع، بالإضافة إلي تغير قيمة β_{dc} من ترانزستور إلي آخر من نفس النوع نتيجة لعملية التصنيع. وبناء علي ذلك، الدائرة التي تستخدم انحياز القاعدة ربما تعطي تشويه للخرج ناتج عن عطل بالترانزستور، أو استبدال ترانزستور بآخر له β_{dc} مختلفة أو نتيجة لتغير درجة الحرارة والتي تسبب إزاحة كافية لقيمة β_{dc} .

مثال (٦ -٢):

دائرة انحياز القاعدة الموضحة في شكل (٦ -٥)، معرضة لزيادة في درجة الحرارة من $25^{\circ}C$ إلي $75^{\circ}C$. إذا كانت $\beta_{dc} = 100$ عند درجة حرارة $25^{\circ}C$، وتساوي 150 عند درجة حرارة $75^{\circ}C$ ، حدد النسبة المئوية للتغير في نقطة التشغيل (I_C , V_{CE}) في مدي التغير في درجة الحرارة. أهمل أي تغير في الجهد V_{BE}، وكذلك أي تأثير لتيار التسريب.



شكل (٦ -٥)

الحل:

عند درجة حرارة $25^{\circ}C$ ، قيمة كل من I_C , V_{CE} يمكن حسابها كما يلي:

$$I_C = \beta_{dc}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right) = 100\left(\frac{12V - 0.7V}{100K\Omega}\right) = 11.3mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12V - (11.3mA)(560\Omega) = 5.67V$$

عند درجة حرارة $75^{\circ}C$ ، يمكن حساب قيمة كل من I_C , V_{CE} كما يلي:

$$I_C = \beta_{dc}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right) = 150\left(\frac{12\text{V} - 0.7\text{V}}{100\text{K}\Omega}\right) = 17\text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12\text{V} - (17\text{mA})(560\Omega) = 2.48\text{V}$$

وعلي ذلك تكون النسبة المئوية في تغير التيار I_C تساوي:

$$\%\Delta I_C = \frac{I_{C(75^\circ)} - I_{C(25^\circ)}}{I_{C(25^\circ)}} \times 100\%$$

$$= \frac{17\text{mA} - 11.3\text{mA}}{11.3\text{mA}} \times 100\% \cong 50\% \qquad \text{(زيادة)}$$

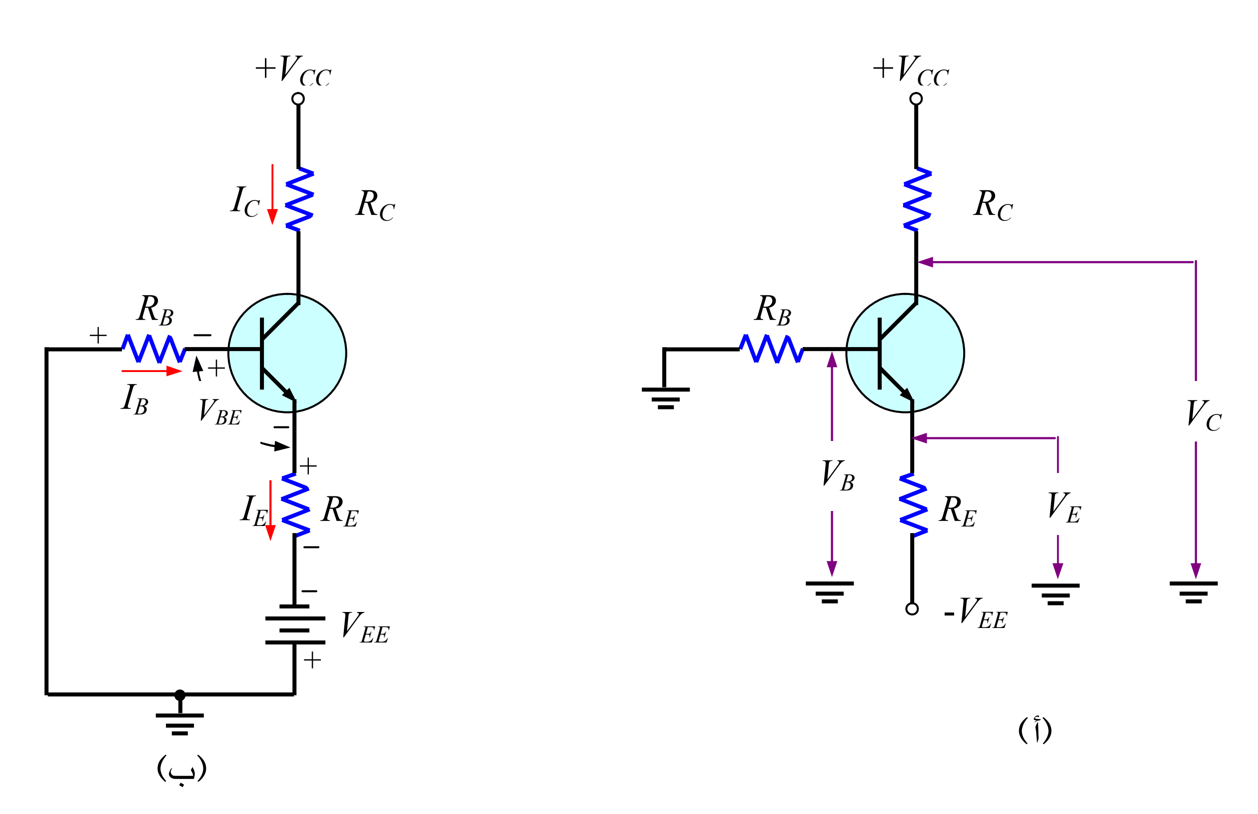
لاحظ أن التيار I_C يتغير بنفس نسبة التغير في β_{dc}. النسبة المئوية في تغير الجهد V_{CE} تساوي:

$$\%\Delta V_{CE} = \frac{V_{CE(75^\circ)} - V_{CE(25^\circ)}}{V_{CE(25^\circ)}} \times 100\%$$

$$= \frac{2.48\text{ V} - 5.67\text{V}}{5.67\text{V}} \times 100\% \cong -56.3\% \qquad \text{(انخفاض)}$$

٦ -٤انحياز الباعث Emitter Bias

تستخدم دائرة انحياز الباعث جهدي مصدر أحدهما موجب والآخر سالب كما هو موضح بالشكل (٦ -٦). في هذه الدائرة، جهد المصدر V_{EE} يتسبب في جعل وصلة القاعدة -الباعث منحازة انحيازاً أمامياً.



شكل (٦ -٦) انحياز الباعث.

وبتطبيق قانون كيرشوف للجهد حول دائرة القاعدة -الباعث في الدائرة الموضحة بشكل في شكل (٦ -٦أ) والتي أعيد رسمها في الشكل (٦ -٦ب) بغرض سهولة التحليل، نجد أن:

$$V_{EE} + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

وبحل المعادلة بالنسبة إلي الجهد V_{EE} نحصل علي:

$$I_B R_B + I_E R_E + V_{BE} = -V_{EE}$$

وبما أن:

$$I_C \cong I_E$$

وكذلك:

$$I_C = \beta_{dc} I_B$$

$$\therefore I_B \cong \frac{I_E}{\beta_{dc}}$$

وبالتعويض عن قيمة I_B نحصل علي:

$$\left(\frac{I_E}{\beta_{dc}}\right)R_B + I_E R_E + V_{BE} = -V_{EE}$$

$$\therefore I_E\left(\frac{R_B}{\beta_{dc}} + R_E\right) + V_{BE} = -V_{EE}$$

$$\therefore I_E = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} \qquad (٦ -٥)$$

وبما أن:

$$I_C \cong I_E$$

$$\therefore I_C \cong \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} \qquad (٦ -٦)$$

ويكون جهد الباعث بالنسبة للأرض يساوي:

$$V_E = V_{EE} + I_E R_E \qquad (٦ -٧)$$

ويكون جهد القاعدة بالنسبة للأرض يساوي:

$$V_B = V_E + V_{BE} \qquad (٦ -٨)$$

ويكون جهد القاعدة بالنسبة للأرض يساوي:

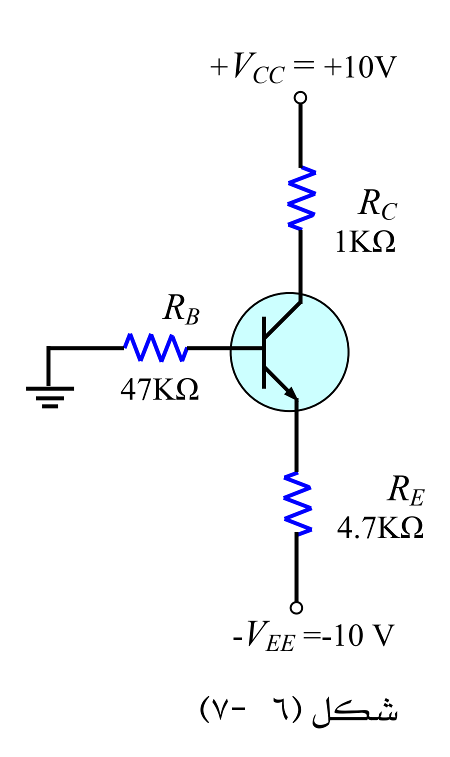
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \qquad (٦ -٩)$$

وبطرح V_E من V_C وباستخدام التقريب $I_E \cong I_C$ نحصل علي:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - (V_{EE} + I_E R_E)$$
$$\cong V_{CC} - V_{EE} - I_C (R_C + R_E)$$

مثال (٦ -٣):

أوجد قيمة كل من التيار I_C، I_E وكذلك الجهد V_{CE} للدائرة الموضحة في شكل (٦ -٧) إذا كانت $\beta_{dc} = 100$ والجهد $V_{BE} = 0.7V$.



شكل (٦ -٧)

الحل:

يمكن حساب قيمة التيار I_E كما يلي:

$$\therefore I_E = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + (R_B / \beta_{dc})} = \frac{-(-10V) - 0.7V}{4.7K\Omega + (47K\Omega / 100)} = \frac{9.3V}{5.17K\Omega} = 1.8mA$$

وحيث إن:

$$\therefore I_C \cong I_E = 1.8mA$$

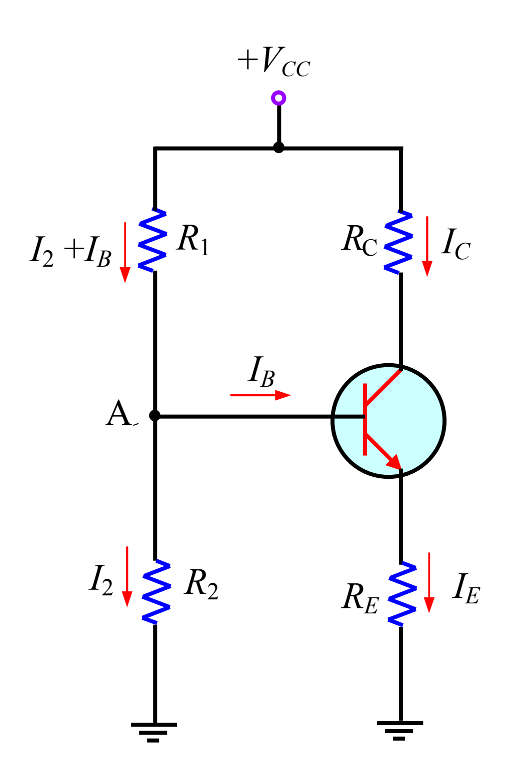
ويكون الجهد V_{CE} هو:

$$\therefore V_{CE} \cong V_{CC} - V_{EE} - I_C(R_C + R_E)$$
$$\cong 10V - (-10V) - 1.8mA(5.7K\Omega) = 9.74V$$

٦ -٥ انحياز مجزئ الجهد Voltage-Divider Bias

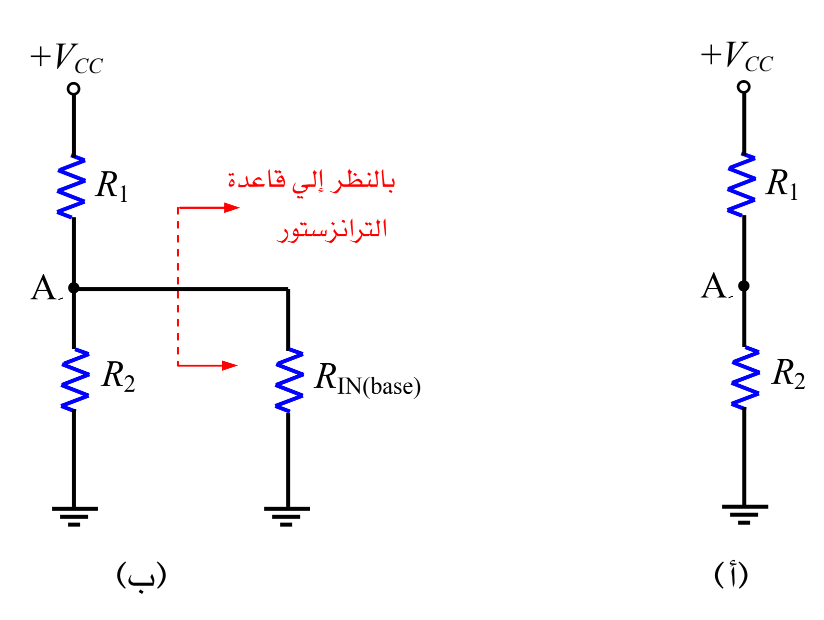
شكل (٦ -٨) يوضح دائرة ترانزستور، انحياز جهد القاعدة فيها تم والذي عن طريق مجزئ أومي للجهد مكون من مقاومتين R_1, R_2.

عند النقطة A، يوجد مساران للتيار إلي الأرض، المسار الأول خلال المقاومة R_2 والثاني خلال وصلة القاعدة -الباعث للترانزستور.



شكل (٦ -٨) انحياز مجزئ الجهد.

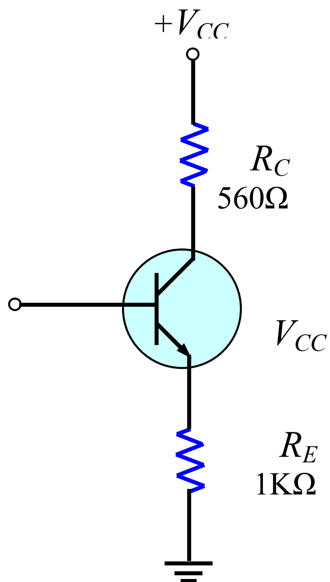
إذا كان تيار القاعدة I_B أقل بكثير من التيار المار بالمقاومة R_2، فإن دائرة الانحياز يمكن اعتبارها كمجزئ جهد مكون من مقاومتين R_1, R_2 كما هو موضح بالشكل (٦ -٩أ). إذا كان تيار القاعدة I_B ليس صغيراً ولا يمكن إهماله بالنسبة للتيار I_2، فإن المقاومة الداخلية بين القاعدة والأرض للترانزستور ($R_{IN(base)}$) يجب أخذها في الاعتبار. وهذه المقاومة تظهر علي التوازي مع المقاومة R_2 ، كما هو موضح بالشكل (٦ -٩ب).



شكل (٦ -٩) مجزئ الجهد البسيط.

- **مقاومة الدخل عند القاعدة** Input Resistance at the Base

لاستنتاج صيغة لمقاومة الدخل عند القاعدة للترانزستور، سوف نستخدم الدائرة الموضحة بشكل (٦ -١٠). الدخل V_{IN} يطبق بين القاعدة والأرض، والتيار I_{IN} هو التيار الداخل إلي القاعدة كما هو موضح بالشكل.



شكل (٦ -١٠) استنتاج صيغة لمقاومة الدخل عند القاعدة للترانزستور.

وباستخدام قانون أوم نحصل علي:

$$R_{\mathrm{IN(base)}} = \frac{V_{\mathrm{IN}}}{I_{\mathrm{IN}}}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف حول دائرة القاعدة -الباعث نحصل علي:

$$V_{\mathrm{IN}} = V_{BE} + I_E R_E$$

وبفرض أن $V_{BE} << I_E R_E$ ، فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$V_{\mathrm{IN}} \cong I_E R_E$$

وحيث إن β_{dc} I_C $I_E \cong$ يكون:

$$V_{\mathrm{IN}} \cong \beta_{dc} I_B R_E$$

بالتعويض نحصل علي:

$$R_{\mathrm{IN(base)}} = \frac{V_{\mathrm{IN}}}{I_{\mathrm{IN}}} \cong \frac{\beta_{dc} I_B R_E}{I_B}$$

وبحذف التيار I_B نحصل علي:

$$R_{\mathrm{IN(base)}} \cong \beta_{dc} R_E \qquad (٦ \ -١٠)$$

مثال (٦ -٤):

حدد قيمة مقاومة الدخل لدائرة الترانزستور الموضحة في شكل (٦ -١٠) إذا كانت $\beta_{dc} = 125$.

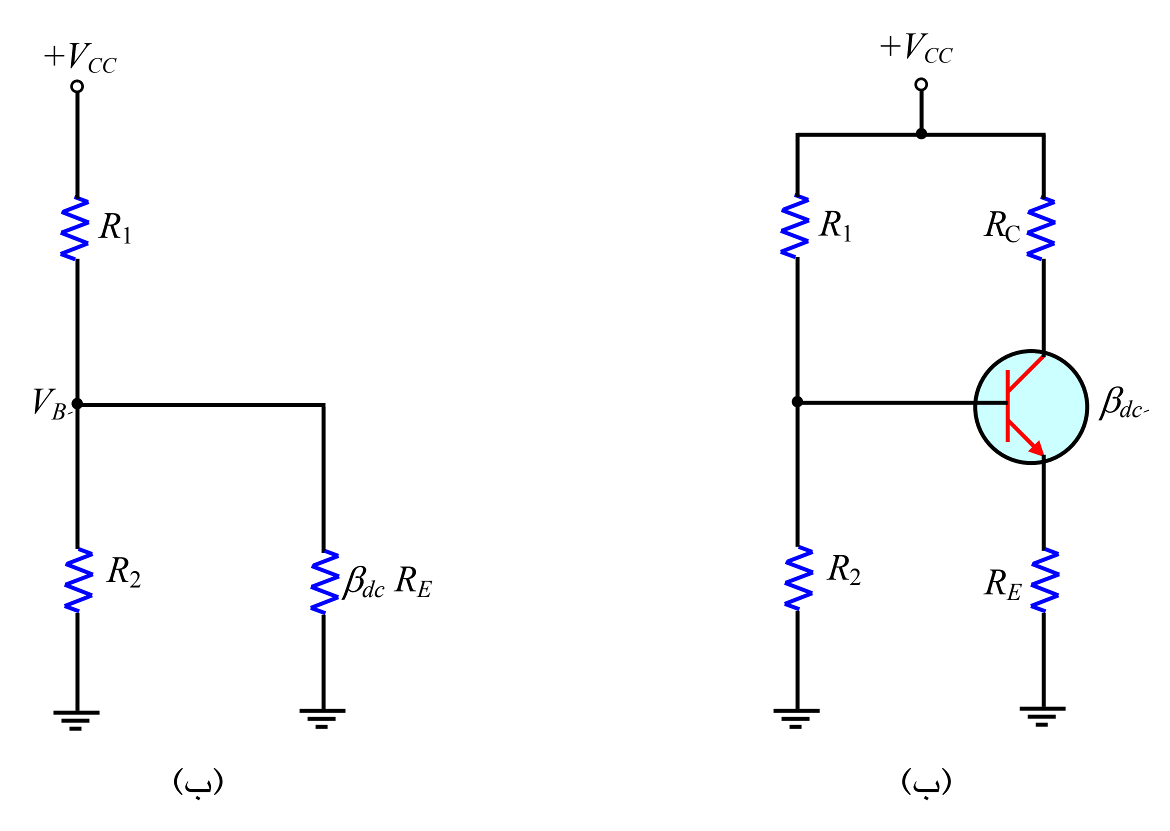
الحل:

$$R_{\mathrm{IN(base)}} \cong \beta_{dc} R_E = (125)(1\mathrm{K\Omega}) = 125\mathrm{K\Omega}$$

- **تحليل دائرة انحياز مجزئ الجهد** Analysis of a Voltage-Divider Bias Circuit

دائرة انحياز مجزئ الجهد للترانزستور npn موضحة بشكل (٦ -١١أ). سوف نبدأ تحليل الدائرة بتحديد قيمة الجهد عند القاعدة باستخدام صيغة مجزئ الجهد والتي يمكن استنتاجها كالآتي:

$$R_{\mathrm{IN(base)}} \cong \beta_{dc} R_E$$



شكل (٦ -١١) دائرة انحياز مجزئ الجهد للترانزستور npn.

المقاومة الكلية من القاعدة إلي الأرض تساوي:

$$R_2 // \beta_{dc} R_E$$

مجزي الجهد يتكون من المقاومة R_1 والمقاومة بين القاعدة والأرض ($\beta_{dc}\ R_E$) علي التوازي مع المقاومة R_2 كما هو موضح بالشكل (٦ -١١ب).

وبتطبيق صيغة مجزئ الجهد نحصل علي:

$$V_B = \left(\frac{R_2 // \beta_{dc} R_E}{R_1 + (R_2 // \beta_{dc} R_E)} \right) V_{CC}$$

إذا كانت $\beta_{dc}\ R_E >> R_2$، فإن الصيغة السابقة يمكن تبسيطها إلى:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \qquad (٦ -١١)$$

وبمعرفة جهد القاعدة V_B، يمكن الحصول علي جهد الباعث والذي يساوي:

$$V_E = V_B - V_{BE} \qquad (٦ -١٢)$$

وتيار الباعث I_E يمكن إيجاده باستخدام قانون أوم:

$$I_E = V_E / R_E \qquad (٦ -١٣)$$

وبالتالي يكون:

$$I_C \cong I_E \qquad (٦ -١٤)$$

وكذلك:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \qquad (٦ -١٥)$$

وبمعلومية V_C والجهد V_E يمكن تحديد قيمة الجهد V_{CE} كما يلي:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

ويمكن التعبير عن الجهد V_{CE} بدلالة التيار I_C باستخدام قانون كيرشوف للجهد كما يلي:

$$V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} = 0$$

وبما أن $I_E \cong I_C$ نحصل على:

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C R_C - I_C R_E$$

$$\therefore V_{CE} \cong V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \qquad (٦ -١٦)$$

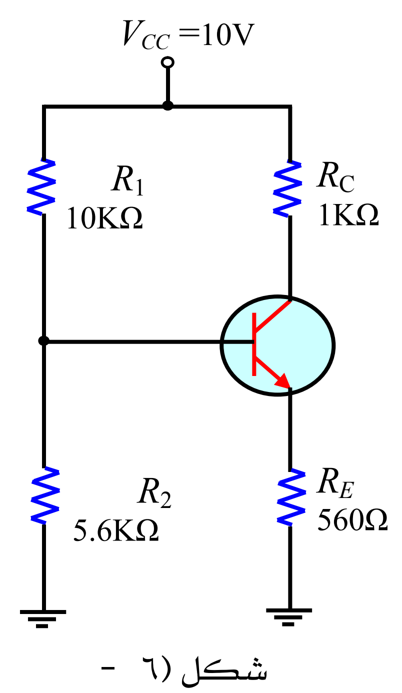
مثال (٦ -٥):

أوجد قيمة كل من الجهد V_{CE} والتيار I_C في الدائرة الموضحة بالشكل (٦ -١٢) علماً بأن $\beta_{dc} = 100$.

الحل:

نحدد أولاً قيمة مقاومة الدخل كما يلي:

$$R_{IN(base)} \cong \beta_{dc} R_E = (100)(560\Omega) = 56K\Omega$$



شكل (٦ -

نلاحظ أن قيمة المقاومة $R_{IN(base)}$ تساوي عشرة أضعاف المقاومة R_2 وعليه يمكن إهمال المقاومة $R_{IN(base)}$.
وعليه يكون الجهد V_B يساوي:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_{CC} = \left(\frac{5.6\text{K}\Omega}{15.6\text{K}\Omega}\right)10\text{V} = 3.59\text{V}$$

وبالتالي:

$$V_E = V_\text{B} - V_\text{BE} = 3.59\text{V} - 0.7\text{V} = 2.89\text{V}$$

وكذلك:

$$I_E = V_E / R_E = 2.89\text{V} / 560\Omega = 5.16\text{mA}$$

وبناءاً علي ذلك:

$$I_C \cong 5.16\text{mA}$$

وأيضاً:

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10\text{V} - 5.16\text{mA}(1.56\text{K}\Omega) = 1.95\text{V}$$

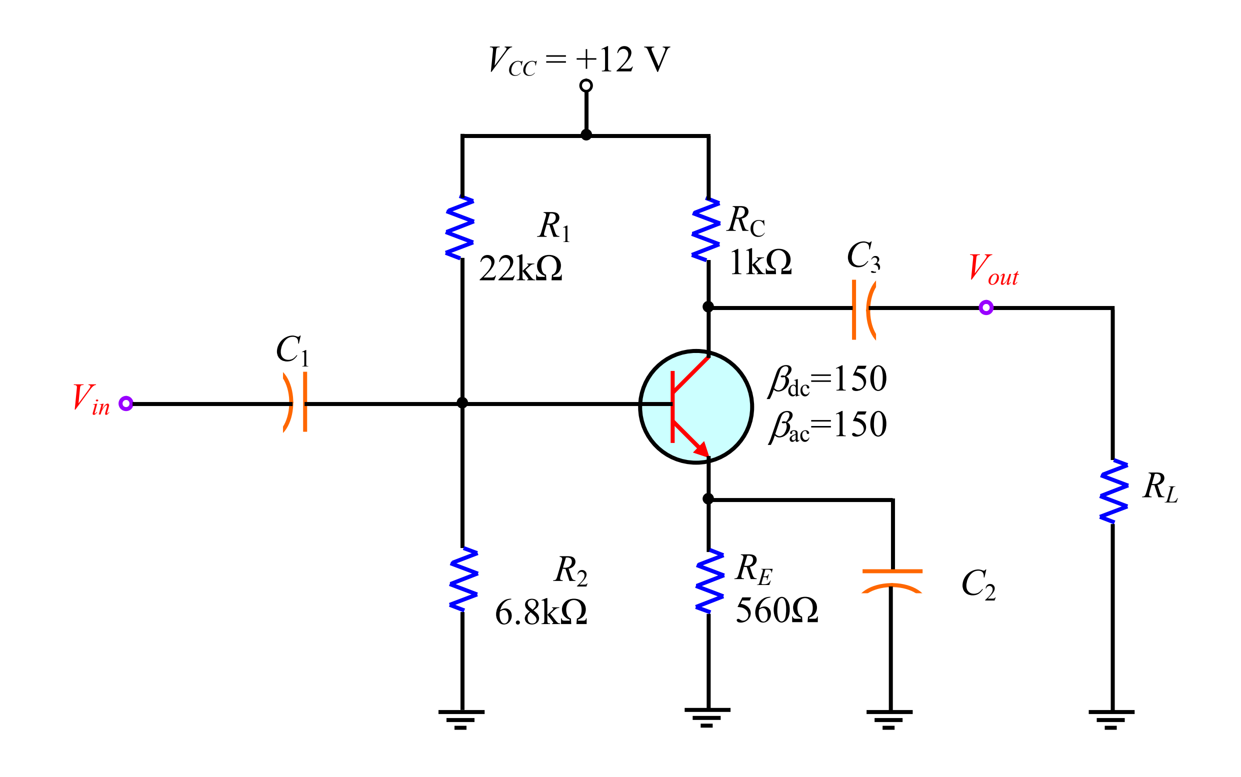
٦ -٦ تركيبات (هيئات) الترانزستور Transistor Configurations

في هذا الجزء سوف نتعرف علي هيئة الترانزستور عندما يستخدم كمكبر في الدوائر الألكترونية وسوف نتعرض هنا للأنواع الثلاثة لهيئة الترانزستور وهي:

- هيئة الباعث المشترك (Common-Emitter Configuration)
- هيئة المجمع المشترك (Common-Collector Configuration)
- هيئة القاعدة المشتركة (Common-Base Configuration)

٦ -٦ -١ مكبرات الباعث المشترك Common-Emitter Amplifiers

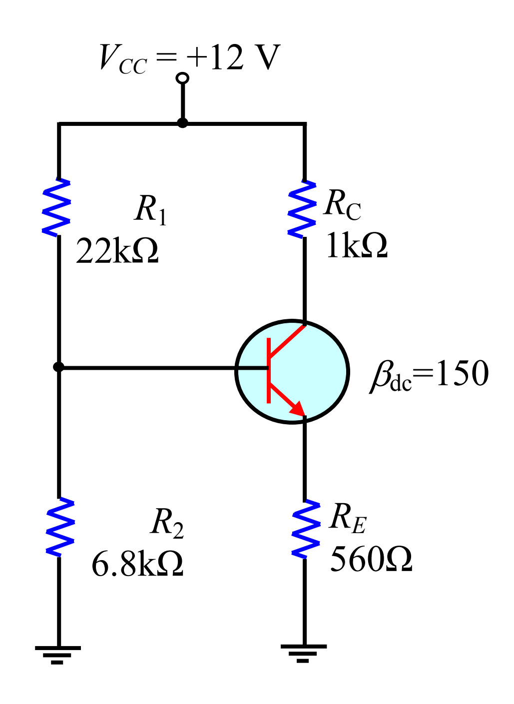
شكل (٦ -١٣)، يوضح دائرة مكبر الباعث المشترك مع انحياز مجزئ الجهد ومكثفات الربط C_1, C_3 في الدخل والخرج، ومكثف التسريب C_2 من الباعث إلي الأرض. ومن الواضح أن الدائرة تحتوي علي تركيبة من التشغيل في حالة التيار المتردد وحالة التيار المستمر، وسوف نتعرض هنا إلي تحليل الدائرة من حيث التشغيل في هاتين الحالتين.



شكل (٦ -١٣) مكبر الباعث

- التحليل في حالة التيار المستمر DC Analysis

لتحليل المكبر في شكل (٦ -١٣)، فإن قيم انحياز التيار المستمر يجب أن تحدد أولاً. ولعمل هذا، فإن الدائرة المكافئة في حالة التيار المستمر يجب أن تستنتج وذلك بجعل جميع المكثفات في الدائرة مفتوحة (open) كما هو موضح بالشكل (٦ -١٤).



شكل (٦ -١٤) الدائرة المكافئة في حالة التيار المستمر.

من الجزء السابق علمنا أن مقاومة دخل القاعدة تعطي بالعلاقة:

$$R_{\text{IN(base)}} \cong \beta_{dc} R_E = (150)(560\Omega) = 84\text{K}\Omega$$

وحيث إن المقاومة $R_{\text{IN(base)}}$ أكبر بكثير من المقاومة R_2، فيمكن إهمال المقاومة $R_{\text{IN(base)}}$ عندما نحسب قيمة جهد القاعدة المستمر:

$$V_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) V_{CC} = \left(\frac{6.8\text{K}\Omega}{28.8\text{K}\Omega}\right) 12\text{V} = 2.83\text{V}$$

وبالتالي:

$$V_E = V_{\text{B}} - V_{\text{BE}} = 3.59\text{V} - 0.7\text{V} = 2.89\text{V}$$

وكذلك:

$$I_E = V_E / R_E = 2.13\text{V} / 560\Omega = 3.8\text{mA}$$

وبناءاً علي ذلك:

$$I_C \cong 3.8\text{mA}$$

وأيضاً:

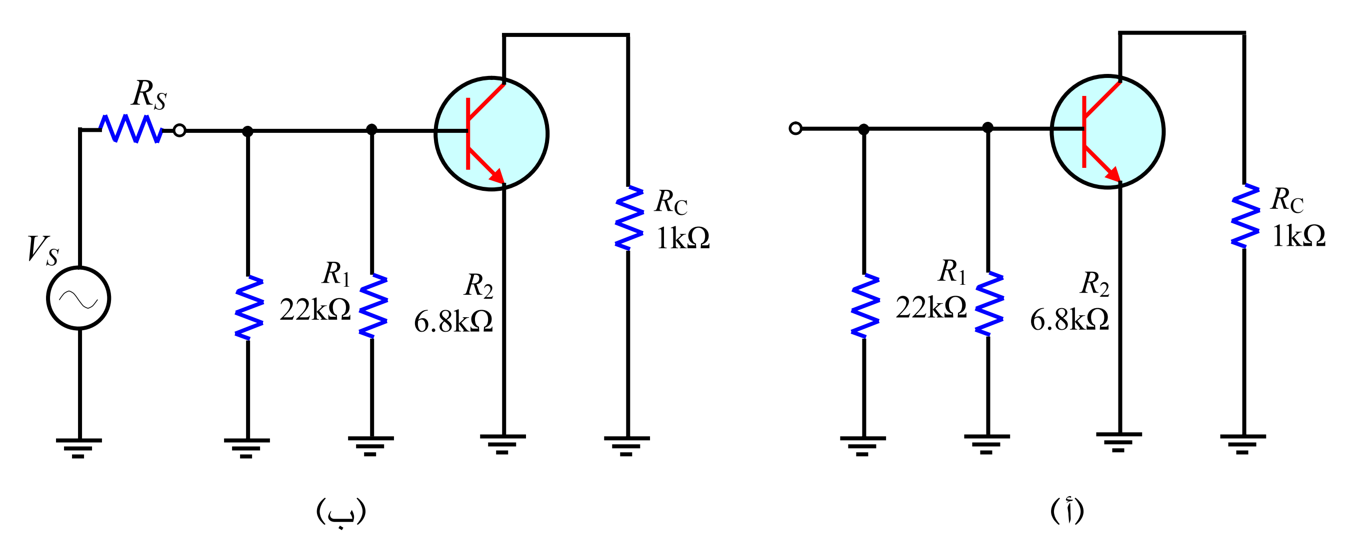
$$V_C \cong V_{CC} - I_C R_C = 12\text{V} - (3.8\text{mA})(1\text{K}\Omega) = 8.2\text{V}$$

وأخيراً:

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8.2\text{V} - 2.13\text{V} = 6.07\text{V}$$

- **التحليل في حالة التيار المتردد AC Analysis**

لتحليل الدائرة في حالة التيار المتردد، فإن الدائرة المكافئة في هذه الحالة يمكن استنتاجها بعمل قصر علي المكثفات $C_1,\ C_2,\ C_3$ وكذلك علي مصدر الجهد المستمر V_{CC}. وبالتالي تصبح الدائرة المكافئة كما هو موضح في شكل (٦ -١٥أ). وعند توصيل مصدر الجهد المتردد علي دخل الدائرة، تصبح الدائرة المكافئة كما هو موضح بالشكل (٦ -١٥ب).



شكل (٦ -١٥) الدائرة المكافئة في حالة التيار المتردد.

ويمكن حساب جهد القاعدة V_b باستخدام الشكل (٦ -١٦أ) حيث تم تبسيطه في شكل (٦ -١٦ب) كالآتي:

$$V_b = \left(\frac{R_{in(tot)}}{R_s + R_{in(tot)}} \right) V_s$$

إذا كانت $R_s << R_{in(tot)}$ فإن جهد القاعدة يصبح:

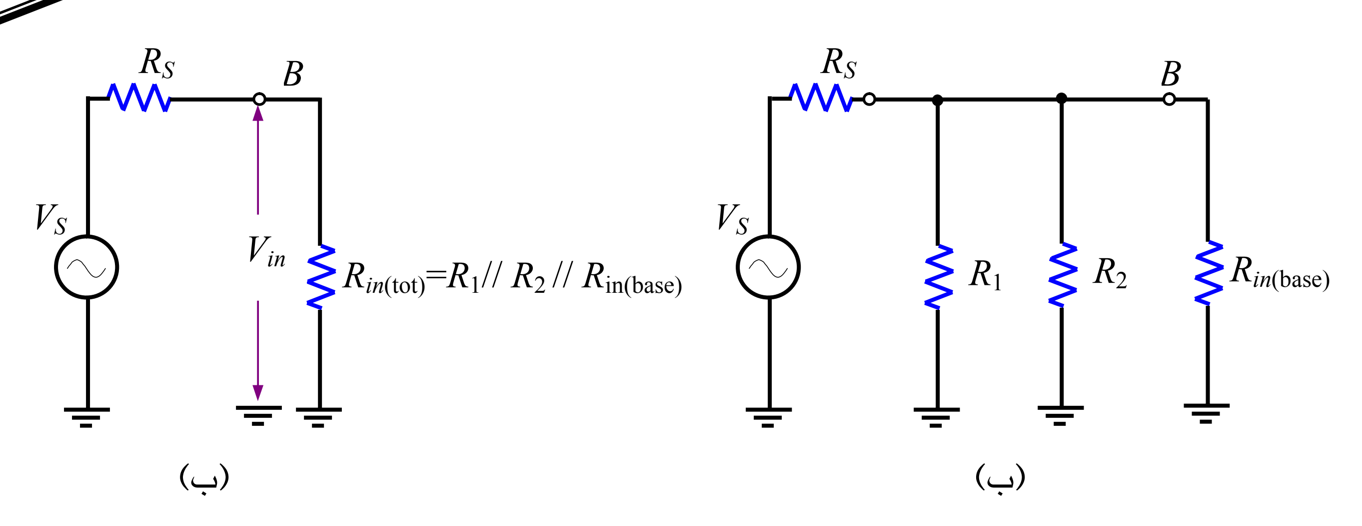
$$V_b \cong V_s$$

حيث V_b هو جهد القاعدة أو جهد الدخل V_{in} للمكبر.

- **مقاومة الدخل Input Resistance**

لحساب مقاومة الدخل للمكبر بمعلومية الدخل المتردد، نتبع الآتي:

$$R_{in(base)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_b}{I_b}$$



شكل (٦ -١٦) دائرة القاعدة المكافئة في حالة التيار المتردد.

وحيث إن:

$$V_b = I_e r'_e$$

وكذلك:

$$I_e \cong I_c$$

$$\therefore I_b \cong \frac{I_e}{\beta_{ac}}$$

وبالتعويض عن قيمة كل من الجهد V_b والتيار I_b نحصل على:

$$R_{in(base)} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{I_e r'_e}{\left(\frac{I_e}{\beta_{ac}}\right)}$$

وبحذف التيار I_e من المعادلة نحصل على:

$$R_{in(base)} = \beta_{ac} r'_e \qquad (٦ -١٧)$$

وتكون المقاومة الكلية:

$$R_{in(tot)} = R_1 // R_2 // R_{in(base)} \qquad (٦ -١٨)$$

- مقاومة الخرج Output Resistance

مقاومة الخرج لدائرة مكبر الباعث المشترك تساوي تقريباً قيمة مقاومة المجمع. وبالتالي فإن:

$$R_{out} \cong R_C \qquad (٦ -١٩)$$

- كسب الجهد لدائرة الباعث المشترك Voltage Gain of the Common-Emitter Amplifier

يمكن حساب قيمة كسب الجهد لدائرة الباعث المشترك كالآتي:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_c}{V_b}$$

حيث:

V_c جهد الخرج المتردد عند المجمع.

V_b جهد الدخل المتردد عند القاعدة.

وبما أن $V_c = \alpha_{ac} I_e R_C \cong I_e R_C$ وكذلك $V_b = I_e r'_e$ فإن:

$$A_v = \frac{I_e R_C}{I_e r'_e}$$

وبحذف I_e من المعادلة نحصل على:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e} \qquad (٦- ٢٠)$$

- كسب التيار Current Gain

كسب التيار من القاعدة إلي المجمع هو (I_c/I_b) أو β_{ac}. وعلى ذلك، يكون الكسب الكلي للتيار لدائرة المكبر هو:

$$A_i = \frac{I_c}{I_s} \qquad (٦- ٢١)$$

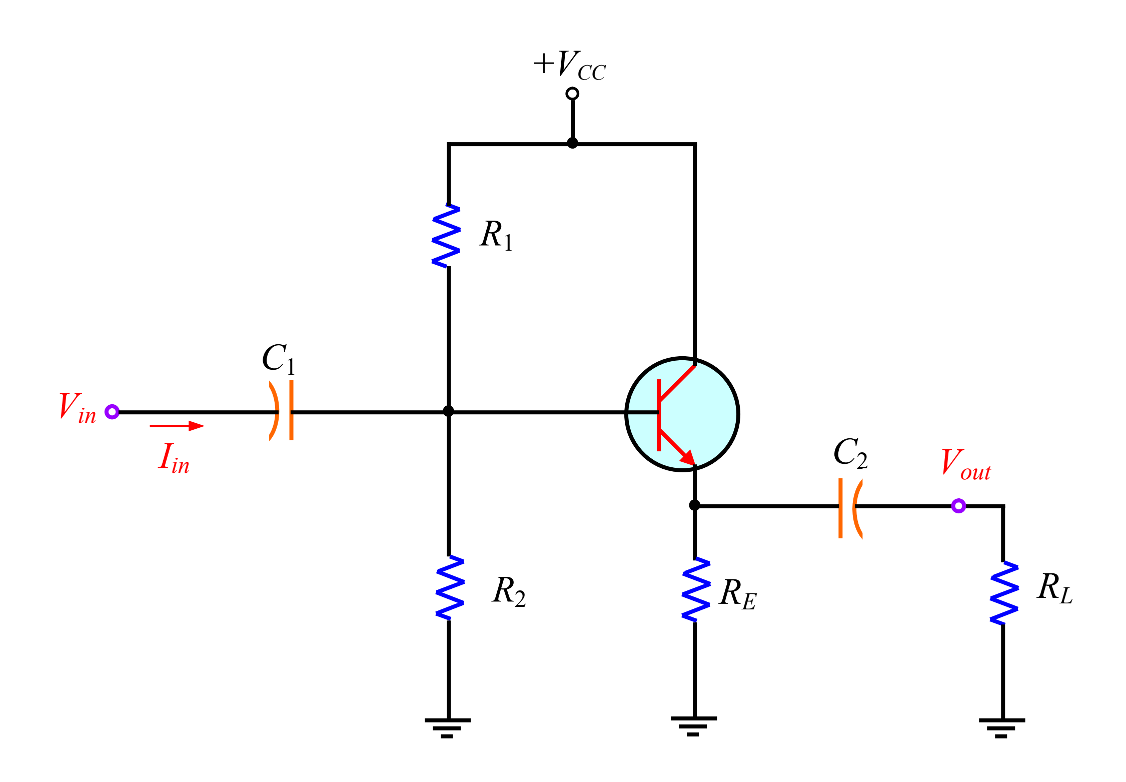
حيث التيار I_s هو التيار الكلي والذي يتكون من مركبتين، المركبة الأولى هي تيار القاعدة والمركبة الثانية هي التيار المار في دائرة الانحياز $(R_1//R_2)$، وعلى ذلك يكون التيار الكلي الناتج من المصدر يساوي:

$$I_s = \frac{V_s}{R_{in(tot)} + R_s}$$

٦ -٦ -٢ مكبرات المجمع المشترك (Common-Collector Amplifiers)

دائـرة المجمـع المشـترك عـادة تسـمى باسـم تـابع الباعـث (emitter follower)، حيـث يطـبق الـدخل علي القاعدة عن طريق مكثف ربـط، ويكـون الخـرج عـن طريق الباعـث. كسـب الجهد لـدائرة مكبر المجمـع المشـترك يسـاوي تقريبـاً الواحـد (1). ولكـن مـن أهـم مميزاتهـا أن لهـا مقاومـة دخـل عاليـة جـداً، وكسب عالي للتيار.

دائرة تابع الباعث مع مجزئ الجهد موضحة بشكل (٦ -١٧)، لاحظ أن الـدخل مـرتبط بالقاعـدة عن طريق المكثف C_1، وكذلك الخرج متصل بالباعث عن طريق المكثف C_2.



شكل (٦ -١٧) دائرة تابع الباعث مع مجزئ الجهد.

- كسب الجهد Voltage Gain

كما هو الحال في جميع المكبرات، فإن كسب الجهد يساوي $A_v = V_o/V_{in}$. وبفرض إهمال المفاعلة السعوية (capacitance reactance)، نحصل على:

$$V_{out} = I_e R_e$$

وكذلك

$$V_{in} = I_e(r'_e + R_e)$$

وعلى ذلك يكون كسب الجهد:

$$A_v = \frac{I_e R_e}{I_e(r'_e + R_e)}$$

وبحذف I_e من المعادلة نحصل على:

$$A_v = \frac{R_e}{(r'_e + R_e)} \qquad (٦-٢٢)$$

حيث المقاومة R_e هي محصلة التوازي بين المقاومتين R_E, R_L، في حالة عدم وجود حمل فإن $R_e = R_E$.

نلاحظ أن الكسب دائماً أقل من (1). إذا كانت $R_e >> r'_e$، يكون أفضل تقريب هو:

$$A_v \cong 1$$

- **مقاومة الدخل** Input Resistance

دائرة تابع الباعث تتميز بأن لها مقاومة دخل عالية جداً، مما يجعلها تستخدم كدائرة عزل (Buffer) لتقليل تأثير الحمل عندما تكون مقاومة الحمل صغيرة.

استنتاج معادلة مقاومة الدخل لدائرة تابع الباعث تماثل تماماً كيفية استنتاجها في دائرة الباعث المشترك. وعلى ذلك:

$$R_{in(base)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{I_e(r'_e + R_e)}{I_b}$$

وحيث إن:

$$I_e \cong I_c = \beta_{ac} I_b$$

نجد أن:

$$R_{in(base)} = \frac{\beta_{ac} I_b (r'_e + R_e)}{I_b}$$

وبحذف التيار I_b من المعادلة نحصل على:

$$R_{in(base)} \cong \beta_{ac}(r'_e + R_e) \qquad (٦-٢٣)$$

فإذا كانت $R_e >> r'_e$، تصبح المعادلة:

$$R_{in(base)} \cong \beta_{ac} R_e$$

وعلى ذلك تكون المقاومة الكلية تساوي:

$$R_{in(tot)} = R_1 // R_2 // R_{in(base)} \qquad (٦-٢٤)$$

• مقاومة الخرج Output Resistance

مع عدم وجود مقاومة حمل، فإن مقاومة الخرج لدائرة تابع الباعث يمكن حسابها تقريباً كما يلي:

$$R_{out} \cong \left(\frac{R_s}{\beta_{ac}}\right) // R_E \qquad (٦ -٢٥)$$

• كسب التيار Current Gain

كسب التيار الكلي لدائرة تابع الباعث هو (I_e/I_{in}). ويمكن حساب قيمة التيار I_{in} عن طريق العلاقة:

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in(tot)}}$$

فإذا كانت مقاومة التوازي المكونة من انحياز مجزئ الجهد R_1, R_2 أكبر بكثير من المقاومة $R_{in(\text{base})}$ فإن معظم تيار الدخل يذهب إلي القاعدة. وعلى ذلك يكون كسب التيار للمكبر تقريباً هو كسب التيار للترانزستور β_{ac} والذي يساوي I_c/I_b. وعلى ذلك إذا كانت:

$$R_1 // R_2 >> \beta_{ac} R_e$$

فإن:

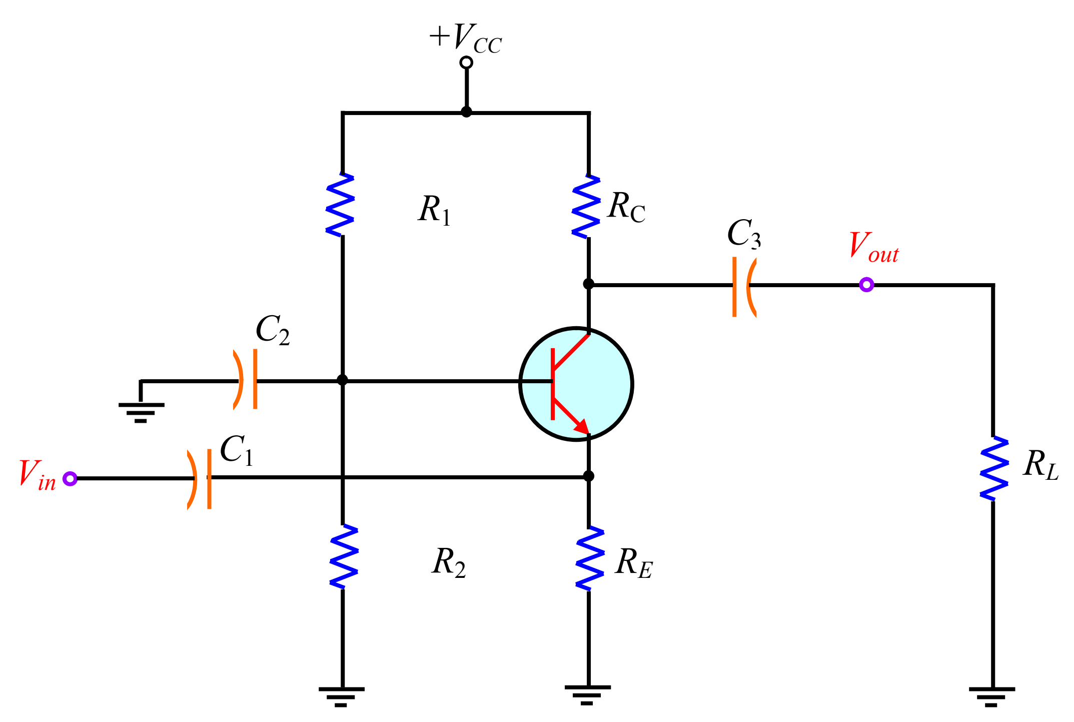
$$A_i \cong \beta_{ac}$$

وبشكل آخر:

$$A_i = \frac{I_e}{I_{in}} \qquad (٦ -٢٦)$$

٦ -٦ -٣ مكبرات القاعدة المشتركة (Common-Base Amplifiers)

شكل (٦ -١٨) يوضح دائرة مكبر القاعدة المشتركة حيث القاعدة هي الطرف المشترك، وإشارة الدخل موصلة بالباعث عن طريق المكثف C_1، والخرج موصل من المجمع عن طريق المكثف C_3 إلي الحمل.



شكل (٦ -١٨) دائرة مكبر القاعدة

- كسب الجهد Voltage Gain

كسب الجهد من الباعث إلي المجمع يمكن استنتاجه كما يلي:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_c}{V_e} = \frac{I_c R_C}{I_e(r'_e // R_E)} \cong \frac{I_e R_C}{I_e(r'_e // R_E)} = \frac{R_C}{(r'_e // R_E)}$$

فإذا كانت $R_E >> r'_e$، فإن:

$$A_v \cong \frac{R_C}{r'_e} \qquad (٦ -٢٧)$$

- مقاومة الدخل Input Resistance

المقاومة التي يمكن رؤيتها عن طريق الباعث هي:

$$R_{in(emitter)} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_e}{I_e} = \frac{I_e(r'_e // R_E)}{I_e}$$

وحيث إن $R_E >> r'_e$، فإن:

$$R_{in(emitter)} \cong r'_e$$ (٦ -٢٨)

- **مقاومة الخرج** Output Resistance

بالنظر خلال المجمع فإن مقاومة المجمع في حالة الدخل المتردد r'_c تظهر علي التوازي مع المقاومة R_C، فتكون مقاومة الخرج علي الصورة:

$$R_{out} \cong R_C$$ (٦ -٢٩)

- **كسب التيار** Current Gain

كسب التيار هو عبارة عن تيار الخرج مقسوماً علي تيار الدخل. التيار I_c هو تيار الخرج، التيار I_e هو تيار الدخل المتردد. وحيث إن $I_c \approx I_e$، فإن كسب التيار يساوي تقريباً (1). أي أن:

$$A_i \cong 1$$ (٦ -٣٠)

أسئلة وتمارين علي الوحدة السادسة

١ - من عيوب انحياز القاعدة:

(أ) أنها معقدة جداً. (ب) أنها تعطي كسب منخفض.

(جـ) أنها تعتمد علي β. (د) أنها تعطي تيار تسريب مرتفع.

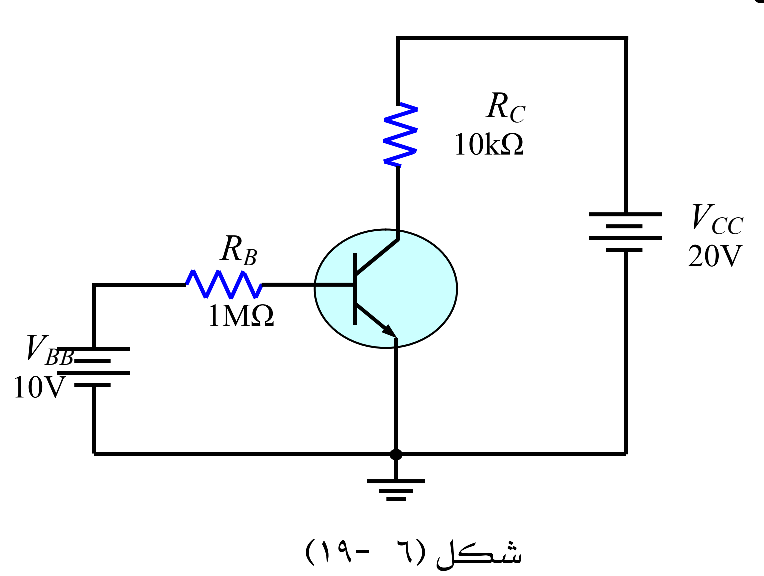
٢ - مقاومة الدخل عند قاعدة الترانزستور ذو الانحياز تعتمد على:

(أ) β_{dc}. (ب) R_B. (جـ) R_E. (د) β_{dc} وكذلك R_E.

٣ - في إحدى دوائر الترانزستور npn والتي تستخدم انحياز مجزئ الجهد، كانت قيمة الجهد $V_B =$ 295V فإن جهد الباعث للتيار المستمر يساوي تقريباً:

(أ) 2.25V (ب) 2.95V (جـ) 3.65V (د) 0.7V

٤ - حدد نقط تقاطع خط الحمل للتيار المستمر علي المحاور الأفقية والرأسية لمنحنيات الخواص للمجمع للدائرة الموضحة بالشكل (٦ -١٩).



شكل (٦ -١٩)

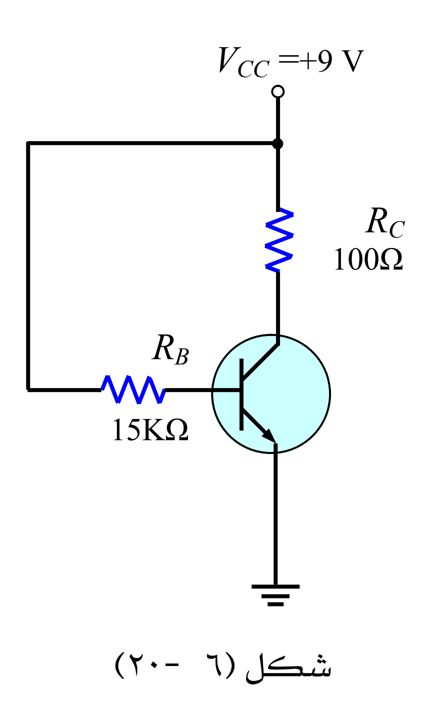
٥ - احسب قيمة كل من التيار I_B والتيار I_C وكذلك الجهد V_{CE} لدائرة الترانزستور ذي انحياز القاعدة بمعلومية القيم الآتية:

$$\beta_{dc} = 90,\ V_{CC} = 12V,\ R_B = 22k\Omega,\ \text{and}\ R_C = 100\Omega$$

٦ - إذا أصبحت قيمة المعامل β_{dc} في المسألة السابقة الضعف نتيجة درجة الحرارة، فما هي قيم نقطة التشغيل؟

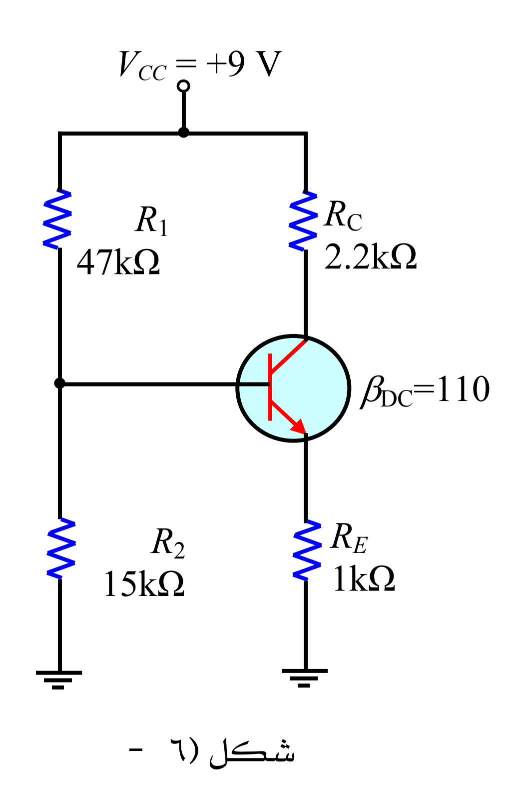
٧ - إذا تعرضت دائرة انحياز القاعدة في الشكل (٦ -٢٠) إلي تغير في درجة الحرارة من $0^{\circ}C$ إلي $70^{\circ}C$، فإن β_{dc} سوف تقل بمقدار 50% عند درجة الحرارة $0^{\circ}C$، و سوف تزيد بمقدار 75% عند درجة

الحرارة $70^{\circ}C$ من القيمة المقننة 110 عند درجة الحرارة $25^{\circ}C$. ما هو مقدار التغير في التيار I_C والجهد V_{CE} في مدي التغير في درجة الحرارة من $0^{\circ}C$ إلي $70^{\circ}C$.



شكل (٦ -٢٠)

٨ - احسب قيم جميع الجهود للترانزستور بالنسبة للأرض في الدائرة الموضحة بالشكل (٦ -٢١).
لا تهمل مقاومة الدخل عند القاعدة أو الجهد V_{BE}.



شكل (٦ -

٩ - إذا كانت قيمة التيار المستمر للمشع في إحدى دوائر الكسب للترانزستور تساوي 3mA ، فإن القيمة التقريبية للمقاومة r'_e هي:

(أ) 3kΩ (ب) 3Ω (جـ) 833Ω (د) 0.33kΩ

١٠ - في دائرة المجمع المشترك، المقاومة $R_E = 100\Omega$ والمقاومة $r'_e = 10\Omega$، والمعامل $\beta_{dc} = 150$. فإن مقاومة الدخل للتيار المتردد عند القاعدة تساوي:

(أ) 1500Ω (ب) 15kΩ (جـ) 110Ω (د) 16.5kΩ

١١ - مقاومة الدخل لدائرة المكبر ذي القاعدة المشتركة تكون:

(أ) صغيرة جداً (ب) عالية جداً (جـ) مثل المقاومة في حالة الباعث المشترك

(د) مثل المقاومة في حالة المجمع المشترك.

١٢ - في دائرة مكبر الباعث المشترك مع انحياز مجزئ الجهد، إذا كانت المقاومة $R_{in(\text{base})} = 68k\Omega$ والمقاومة $R_1 = 33k\Omega$ والمقاومة $R_2 = 15k\Omega$. فإن مقاومة الدخل الكلية تساوي:

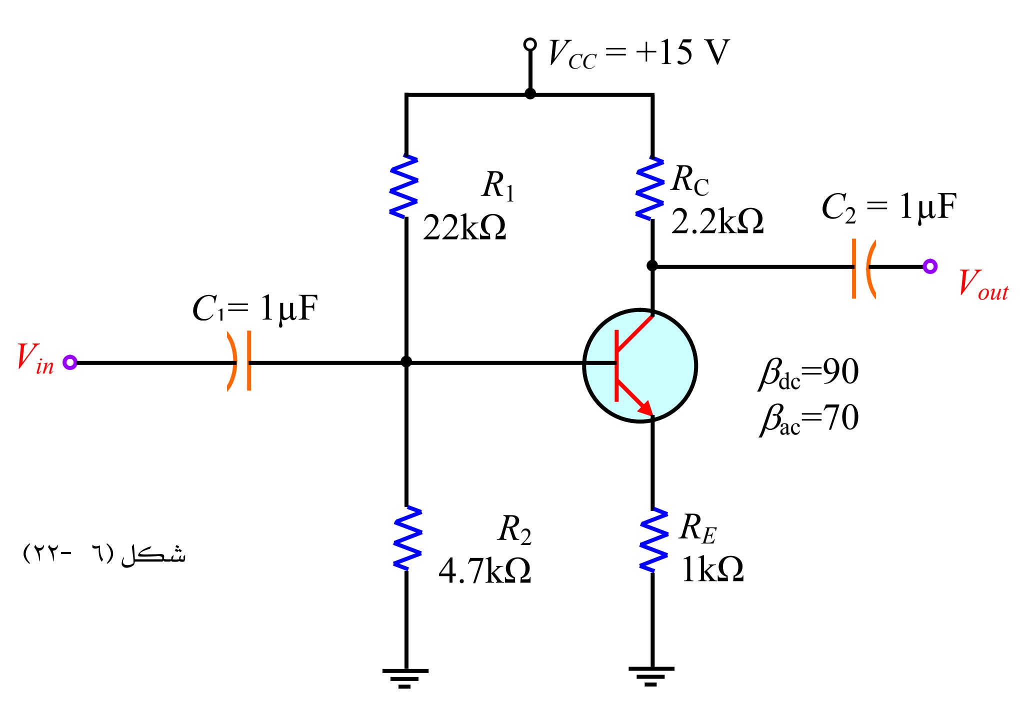
(أ) 68kΩ (ب) 8.95kΩ (جـ) 22.2kΩ (د) 12.3kΩ

١٣ - في دائرة مكبر الباعث المشترك مع مقاومة حمل مقدارها 10kΩ. إذا كانت المقاومة $R_C = 2.2k\Omega$، والمقاومة $r'_e = 10\Omega$، يكون كسب الجهد تقريباً يساوي:

(أ) 220 (ب) 1000 (جـ) 10 (د) 180

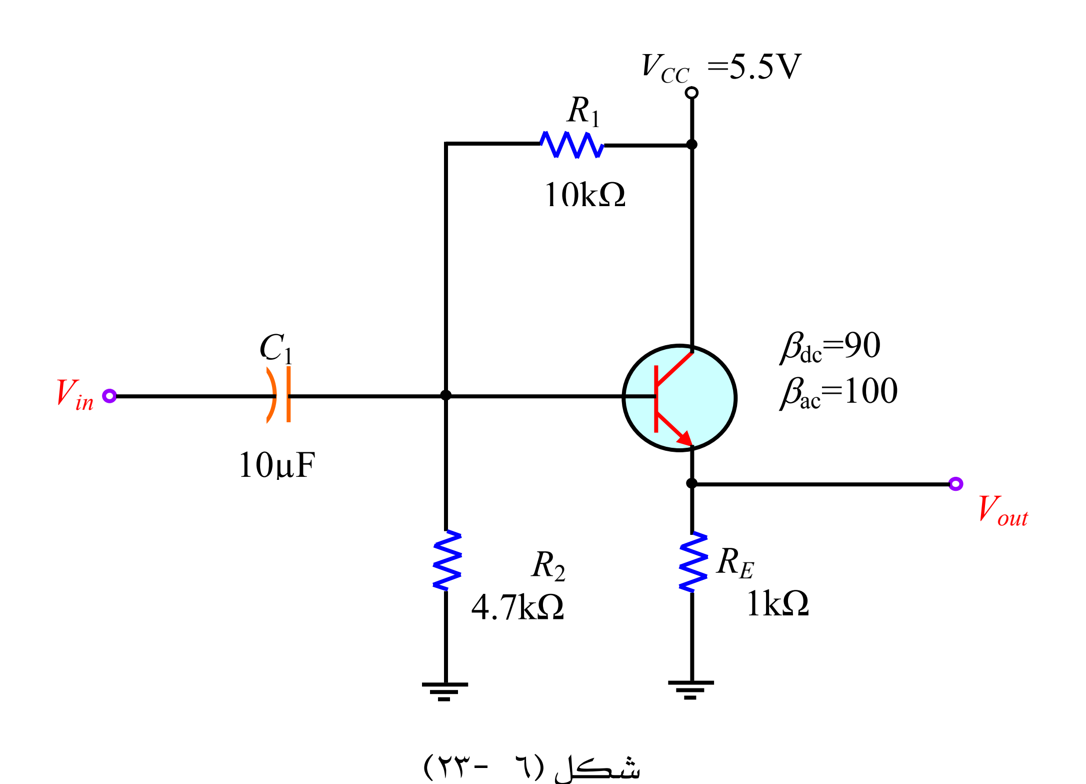
١٤ - احسب القيم الآتية لدائرة المكبر الموضحة بالشكل (٦ -٢٢)

(أ) $R_{in(\text{base})}$ (ب) $R_{in(\text{tot})}$ (جـ) A_v



شكل (٦ -٢٢)

١٥ - ما هي مقاومة الدخل الكلية للدائرة الموضحة بالشكل (٦ -٢٣)؟ ما هي قيمة جهد الخرج المستمر؟



شكل (٦ -٢٣)

١٦ - ما هي العيوب الرئيسية لدائرة المكبر ذات القاعدة المشتركة مقارنة بدائرة المكبر ذات الباعث المشترك والمكبر ذي الباعث التابع.

ترانزستور تأثير المجال

ترانزستور تأثير المجال

٧

الأهداف العامة للوحدة

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

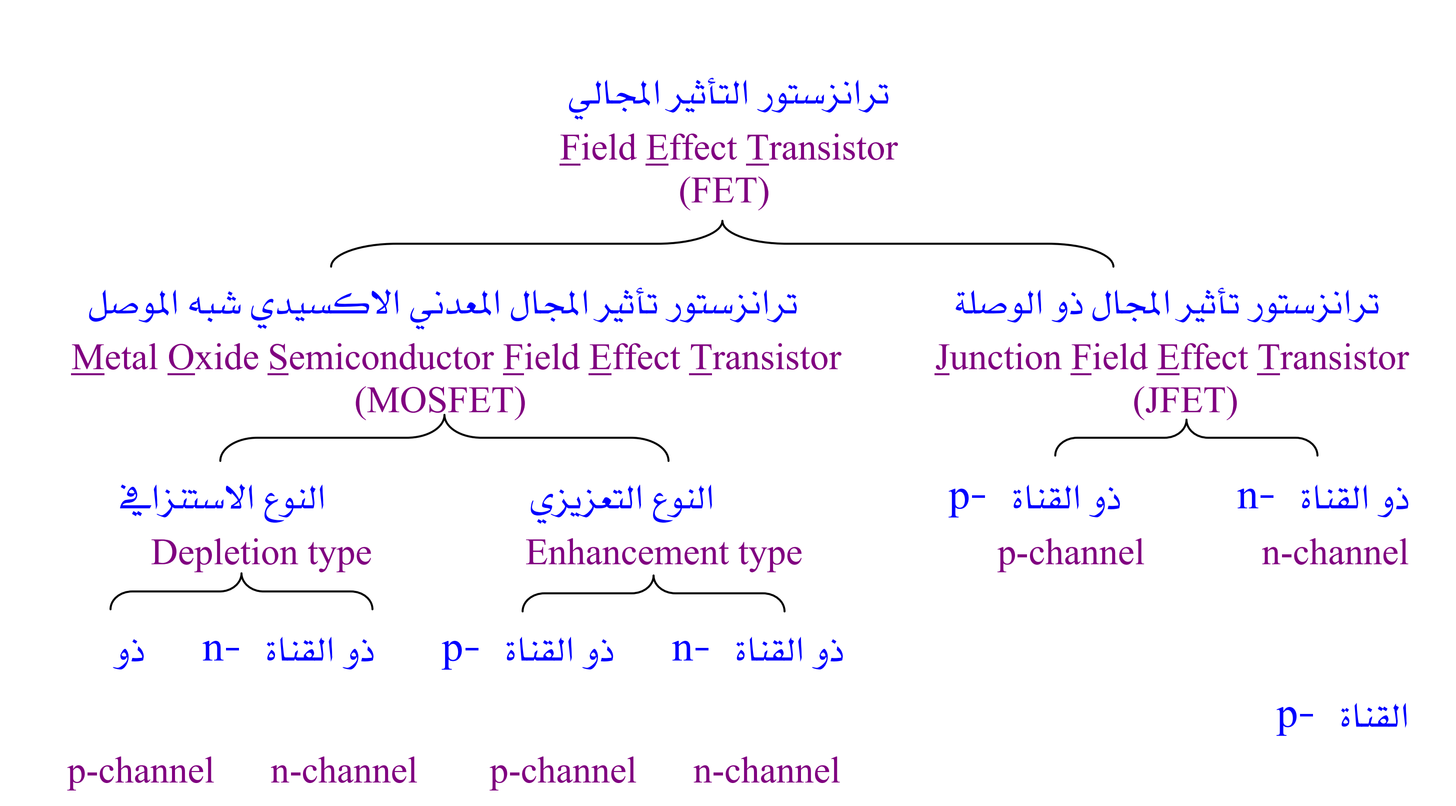
- معرفة الفرق بين ترانزستور تأثير المجال والترانزستور ثنائي القطبية.
- معرفة تركيب وكيفية عمل وخصائص ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة.
- معرفة مميزات ترانزستور تأثير المجال المعدني الاكسيدي شبه الموصل (MOSFET).
- معرفة تركيب وكيفية عمل وخصائص الترانزستور (MOSFET) ذو النوع التعزيزي.
- معرفة تركيب وكيفية عمل وخصائص الترانزستور (MOSFET) ذو النوع الاستنزافي.

٧ -١ مقدمة Introduction

قبل عام 1952 بدأت الأبحاث لإنتاج مقاومة يمكن التحكم في قيمتها عن طريق تغيير المجال الكهربائي المطبق عليها ، ثم ما لبث أن أعلن العالم شوكلي (Shockley) في عام 1952 عن اكتشافه ترانزستور التأثير المجالي.إلا أن استعمال هذا الترانزستور لم يتحقق إلا في عام 1962 وذلك لعدم توافر الإمكانيات التقنية والتكنولوجية لتصنيعه في ذلك الوقت. سوف نتعرف في هذه الوحدة على الأنواع المختلفة لهذا الترانزستور وأوجه الاختلاف بينه وبين عن الترانزستور ثنائي القطبية.

٧ -٢ ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor (FET)

يعرف ترانزستور تأثير المجال بأنه عنصر من عناصر أشباه الموصلات يعتمد في عمله على التحكم في التيار المار خلاله بواسطة المجال الكهربائي. شكل (٧ -١) يوضح الأنواع المختلفة لترانزستور تأثير المجال.



ويعرف ترانزستور تأثير المجال بالترانزستور أحادي القطبية (Unipolar transistor) وذلك تميزاً له عن الترانزستور ثنائي القطبية (Bipolar transistor) ، حيث التيار المار خلاله يعتمد فقط على حاملات التيار الغالبية (majority carriers) وهي الإلكترونات في حالة القناة -n (n-channel) والفجوات في حالة القناة -p (p-channel) ، بينما يعتمد التيار في حالة الترانزستور ثنائي القطبية على كل من حاملات

التيار الغالبية وحاملات التيار الأقلية (minority carriers). ويمتاز ترانزستور تأثير المجال عن الترانزستور ثنائي القطبية بما يلي:

١ - الاستقرار الحراري (thermal stability) حيث لا يعتمد التيار على حاملات التيار الأقلية التي تتأثر بتغير درجة الحرارة.

٢ - سهولة تصنيعه واحتلاله مساحة أقل في الدوائر المتكاملة.

٣ - أقل ضجيجا.

٤ - مقاومة الدخل عالية جداً وتصل إلي عدة عشرات من الميجا أوم.

٥ - صلاحيته للترددات العالية أكثر من الترانزستور ثنائي القطبية، حيث تحتاج حاملات الشحنة في الترانزستور ثنائي القطبية إلي زمن للعبور مما يجعله غير فعال للترددات العالية.

٦ - له كفاءة (efficiency) أكبر من كفاءة الترانزستور ثنائي القطبية.

٧ - يمكن استعماله كحمل فعال (active load) في الدوائر المتكاملة.

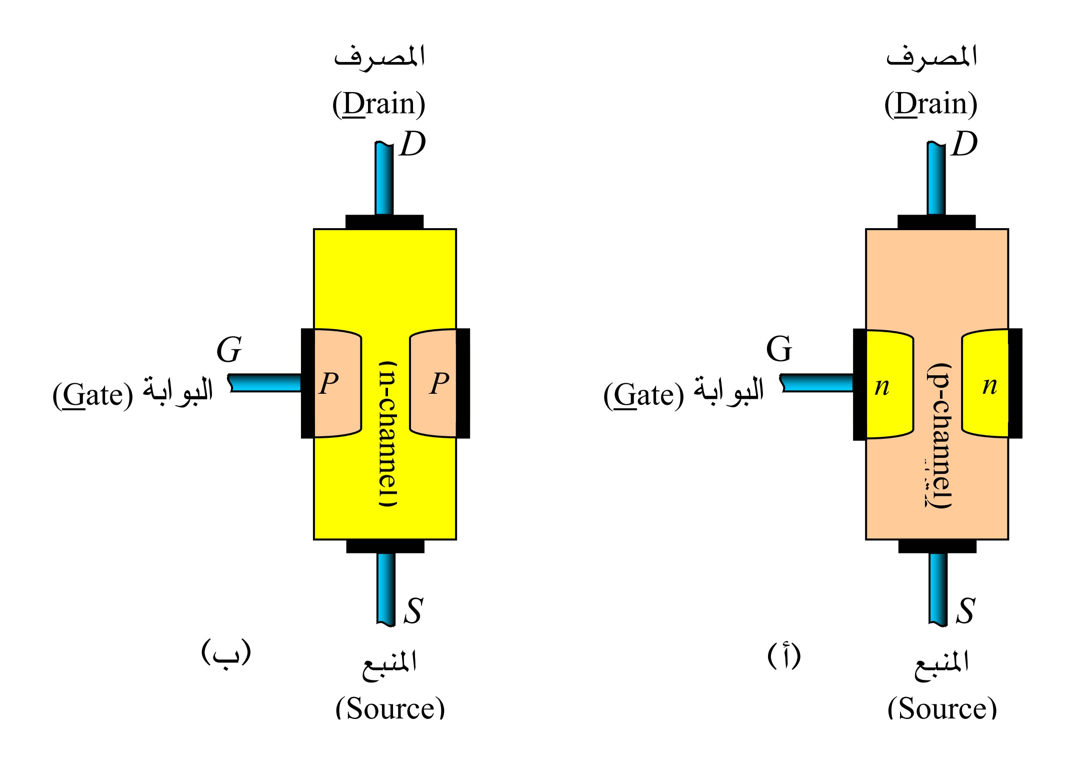
في حين يمتاز الترانزستور ثنائي القطبية بكبر حاصل ضرب الكسب في العرض الترددي (gain bandwidth product) مقارنة بترانزستور تأثير المجال.

٧ -٣ ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة Junction Field Effect Transistor (JEFT)

يتكون ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة من قضيب شبه موصل من النوع -n أو النوع -p طُعم جانبيه ببعض الشوائب للحصول على منطقتين من مادة شبه الموصل من نوع معاكس لنوع القضيب (منطقتان من النوع -p في القضيب من النوع-n ومنطقتان من النوع -n في القضيب من النوع-p) كما هو مبين بشكل (٧ -٢). ويطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذو القناة -n (n-channel JFET) إذا كانت مادة القضيب من النوع -n بينما يطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذو القناة -p (p-channel JFET) إذا كانت مادة القضيب من النوع -p. ولترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة ثلاث مناطق هي:

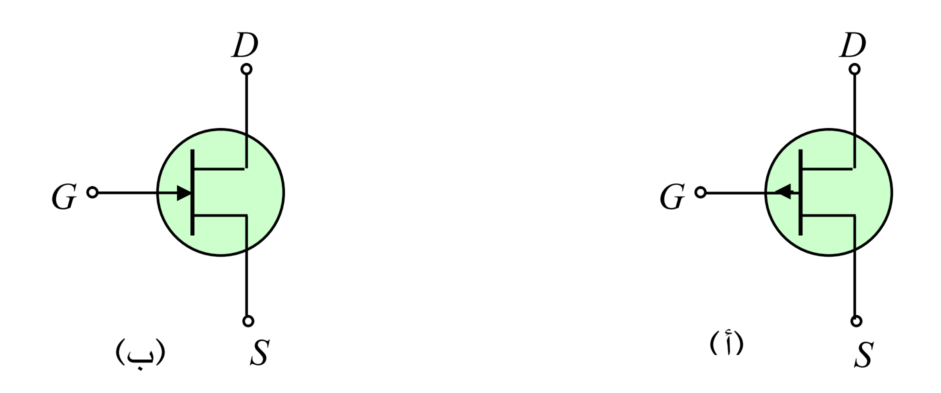
- **المنبع (*S*) Source:** هو طرف القضيب الذي تدخل من خلاله حاملات الشحنة الغالبية (الالكترونات في حالة الترانزستور ذو القناة -n والفجوات في حالة الترانزستور ذو القناة -p) مكونة بذلك تيار المنبع (Source current) الذي يرمز له بالرمز I_S. ويناظر طرف المنبع (S) في الترانزستور أحادي القطبية طرف الباعث (E) في الترانزستور ثنائي القطبية.

- المصرف **Drain (*D*)**: هو طرف القضيب الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبية مكونة بذلك تيار المصرف (Drain current) الذي يرمز له بالرمز I_D. ويناظر طرف المصرف (*D*) في الترانزستور أحادي القطبية طرف المجمع (*C*) في الترانزستور ثنائي القطبية.
- البوابة **Gate (*G*)**: هي عبارة عن المنطقتين الجانبيتين للقضيب وتكون البوابة من مادة معاكسة لنوع مادة القضيب وتتميز بتركيز عالٍ للشوائب ويناظر طرف البوابة (*G*) في الترانزستور احادي القطبية طرف القاعدة (*B*) في الترانزستور ثنائي القطبية.



شكل (٧ -٢) التركيب الأساسي لنوعى ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)
(أ) ترانزستور JFET ذو القناة -n   (ب) ترانزستور JFET ذو القناة -p

ويبين شكل (٧ -٣) الرمز التمثيلي لكل من ترانزستور JFET ذي القناة -p وترانزستور JFET ذي القناة -n، ويلاحظ أن اتجاه السهم على البوابة يكون إلي الخارج في حالة القناة -p ويكون إلي الداخل في حالة القناة -n.



شكل (٧ -٣) الرمز التمثيلي لنوعي ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)

(أ) ترانزستور JFET ذو القناة -p (ب) ترانزستور JFET ذو القناة -n

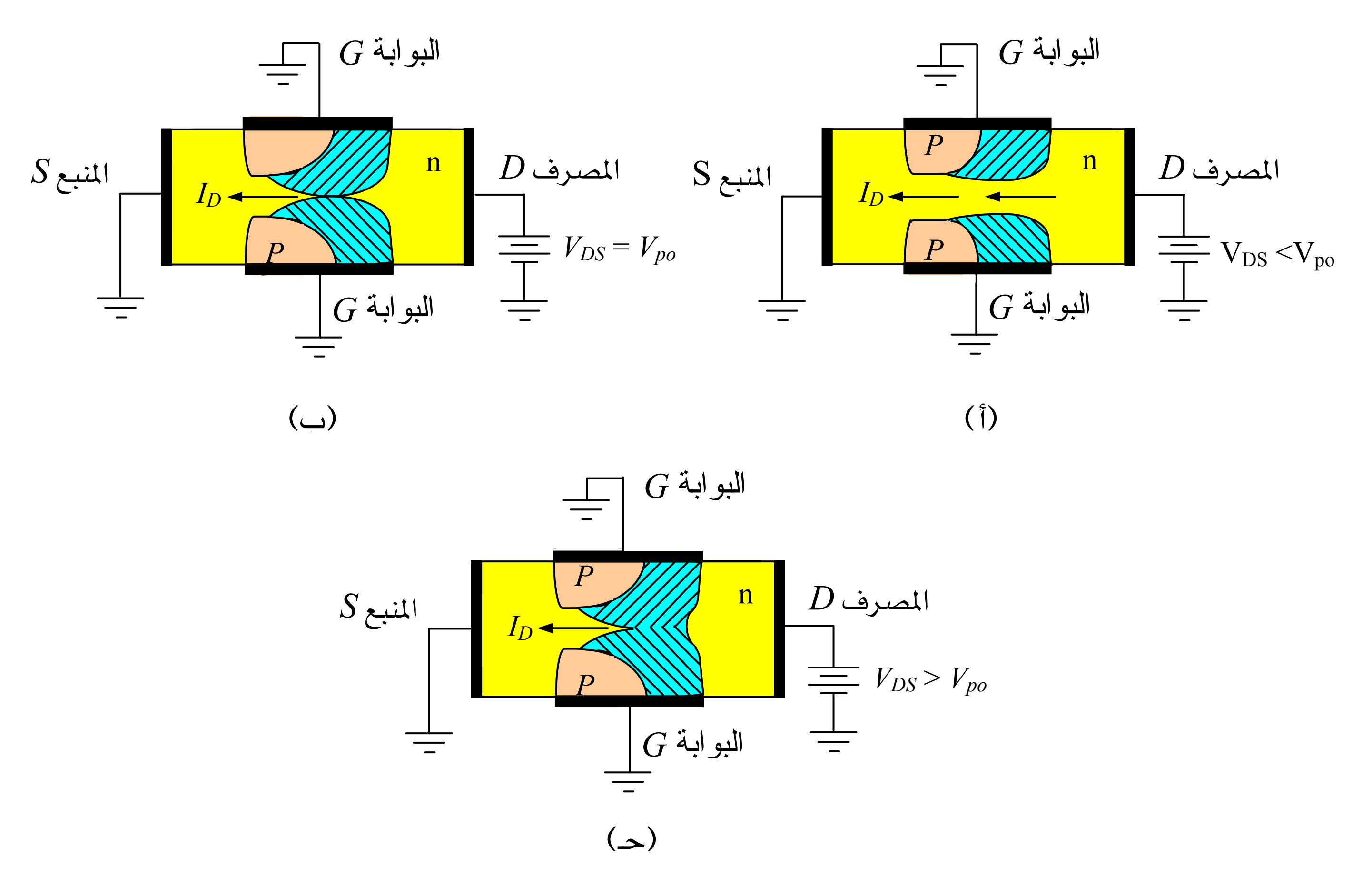
٧ -٣ -١ كيفية عمل ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة Operation of the JFET

عند التقاء المادة نوع -n بالمادة نوع -p تتكون منطقة خالية من حاملات الشحنة الحرة وتعرف هذه المنطقة بمنطقة الاستنزاف أو منطقة الشحنة الفراغية، حيث تنتقل الإلكترونات الحرة من المادة نوع - n إلى المادة نوع - p تاركة خلفها الايونات الموجبة غير القابلة للحركة، وتنتقل كذلك الفجوات الحرة من المادة نوع - p إلى المادة نوع - n تاركة خلفها الايونات السالبة الغير قابلة للحركة. بذلك تتكون منطقة عازلة عند التقاء البوابة (G) بالقناة ويعتمد عرض هذه المنطقة على تركيز الشوائب وجهد الانحياز.

عند انحياز البوابة انحيازا عكسياً بالنسبة للمنبع (S) فإن عرض منطقة الاستنزاف سوف يزداد ويقل نتيجة لذلك عرض القناة، وبالتالي زيادة قيمة مقاومتها مما يؤدي إلى انخفاض قيمة التيار I_D المار خلال الترانزستور، وعند قيمة ثابتة لجهد المصرف -المنبع V_{DS} يكون التيار I_D عبارة عن دالة في جهد البوابة العكسي، وبالتالي نجد أن المجال المتولد نتيجة لتحيز البوابة عكسياً هو الذي يتحكم في عرض القناة وبالتالي في قيمة التيار I_D.

ومن الجدير بالذكر أن عرض القناة يقل بالقرب من المصرف بالمقارنة مع عرضها عند المنبع، ويرجع السبب في ذلك إلى فرق الجهد بين المنبع والمصرف الذي يؤدي إلى زيادة قيمة الجهد العكسي بين البوابة والمصرف عنه بين البوابة والمنبع. شكل (٧ -٤) يبين عرض منطقة الاستنزاف وكذلك عرض القناة بالنسبة للترانزستور ذو القناة -n، عندما تكون قيمة الجهد بين البوابة والمنبع تساوي صفر ($V_{GS} = 0$) وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS} المطبق بين المصرف والمنبع. نلاحظ من الشكل أنه عندما تصل

قيمة الجهد V_{DS} إلى قيمة معينة يحدث اختناق أو انحصار للقناة ولهذا سمي هذا الجهد بجهد الاختناق أو الانحصار ويرمز له بالرمز V_{Po}



شكل (٧ -٤) عرض منطقة الاستنزاف عند $V_{GS} = 0$ وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS}.

(أ) $V_{DS} < V_{po}$ (ب) $V_{DS} = V_{po}$ (جـ) $V_{DS} > V_{po}$

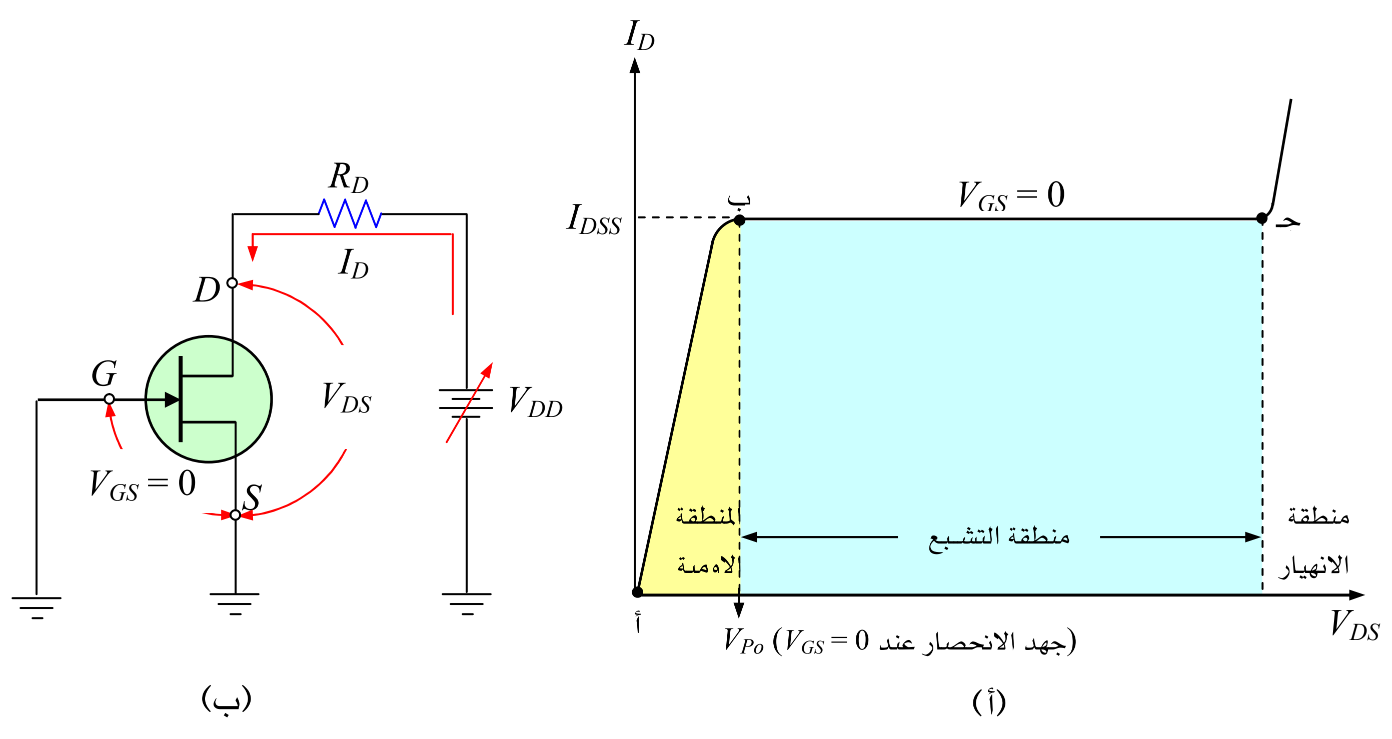
٧ -٣ -٢ خصائص ومعاملات ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة
JFET Characteristics and Parameters

٧ -٣ -٢ -١ منحنى خواص المصرف The Drain Characteristic Curve

شكل (٧ -٥) يبين العلاقة بين الجهد V_{DS} والتيار I_D، بالنسبة للترانزستور ذي القناة -n، عندما تكون قيمة $V_{GS} = 0$ وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS}. عند القيم الصغيرة للجهد V_{DS} فإن عرض منطقة الاستنزاف يكون صغير جداً وبالتالي فإن عرض القناة يكون تقريباً ثابت وهذا يعنى ثبات مقاومة القناة، وبالتالي فإن قيمة التيار I_D تعتمد فقط على قيمة الجهد V_{DS}. ومع زيادة قيمة الجهد V_{DS} يزداد عرض منطقة الاستنزاف ومن ثم يقل عرض القناة وتزداد مقاومتها وبالتالي فإن معدل زيادة التيار I_D

بالنسبة للجهد V_{DS} يقل وذلك إلى أن تصل قيمة الجهد V_{DS} إلى القيمة V_{Po} وعندها يصل تيار المصرف I_D إلى قيمة التشبع ويرمز لها بالرمز I_{DSS}. نظراً لأن العلاقة بين التيار I_D والجهد V_{DS} خلال هذه الفترة تتبع قانون أوم فقد أطلق على المنطقة (أ -ب) من منحنى الخواص المبين بشكل (٧ -٥) المنطقة الاومية (ohmic region).

ومع زيادة قيمة الجهد V_{DS} عن القيمة V_{Po} فإن عرض منطقة الاستنزاف يكون كبير للدرجة التي لا تسمح بأي زيادة في قيمة التيار I_D عن قيمة التشبع التي وصل إليها عند قيمة الجهد V_{Po} ولذلك يطلق على المنطقة (ب -جـ) من منحنى الخواص منطقة التشبع (saturation region).

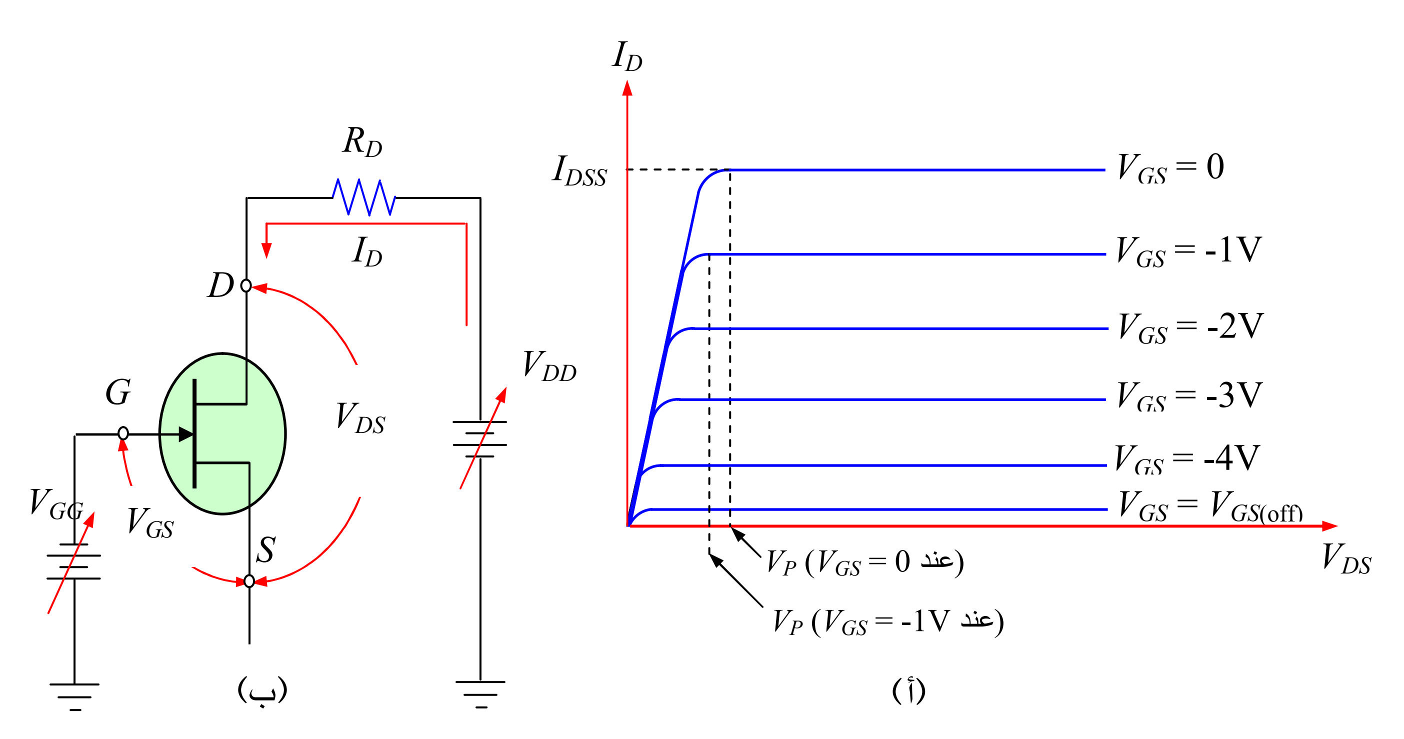


شكل (٧ -٥) منحنى خواص المصرف لترانزستور JFET ذو القناة n- عند $V_{GS} = 0$

(أ) منحنى الخواص (ب) دائرة JFET عند $V_{GS} = 0$

ومع زيادة قيمة فرق الجهد V_{GS} بالاتجاه العكسي فإن فرق جهد الضيق أو الانحصار (V_p) يحدث عند قيم أقل لفرق الجهد V_{DS}، كذلك يقل تيار التشبع كلما زادت قيمة انحياز البوابة عكسياً. ويلاحظ أن قيمة التيار I_D بعد التشبع لا تعتمد على الجهد V_{DS} وإنما تعتمد أساسا على جهد تحيز البوابة V_{GS} كما هو مبين بشكل (٧ -٦).

- جهد الضيق **Pinch-off voltage V_P**: يعرف جهد الضيق أو الانحصار V_P على أنه قيمة الجهد V_{DS} التي تثبت عندها تقريباً قيمة التيار I_D.
- جهد القطع **Cutoff voltage $V_{Gs(off)}$**: يعرف جهد القطع $V_{Gs(off)}$ على أنه قيمة الجهد V_{GS} التي تجعل قيمة التيار I_D تقريباً تساوي صفر

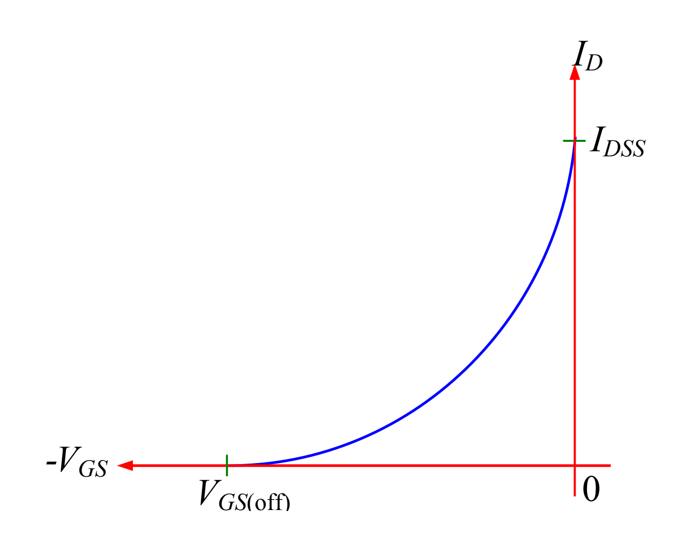


شكل (٧ -٦) منحنيات خواص المصرف لترانزستور JFET ذو القناة -n عند قيم مختلفة للجهد V_{GS}.

(أ) منحنى الخواص (ب) دائرة JFET عند قيم مختلفة للجهد V_{GS}

٧ -٣ -٢ -٢ منحنى خواص التحويل The Transfer Characteristic Curve

حيث إنه من الشائع استعمال ترانزستور تأثير المجال في منطقة التشبع حيث لا تعتمد قيمة تيار المصرف I_D على الجهد V_{DS} وإنما تعتمد أساسا على جهد تحيز البوابة V_{GS} فإن منحنى خواص التحويل الموضح بشكل (٧ -٧) يبين العلاقة بين التيار I_D و الجهد V_{GS}، ويمكن استنتاج هذا المنحنى من منحنيات خواص المصرف برسم قيم التيار I_D مع قيم الجهد V_{GS} المناظرة لها وذلك في منطقة التشبع.



شكل (٧ -٧) منحنى خواص التحويل لترانزستور JFET

٧ -٣ -٢ -٣ معاملات ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة JFET Parameters

- مقاومة المصرف **Drain resistance r_d:** هـي عبـارة عـن معـدل تغير الجهـد V_{DS} بالنسـبة لـتغير التيار I_D عند ثبات قيمة الجهد V_{GS}. وتتراوح قيمة هذه المقاومة تقريبا من 100kΩ إلي 1MΩ.
- الموصلية **Transconductance g_m:** هـي عبـارة عـن معـدل تغير تيـار المصـرف I_D بالنسـبة لـتغير الجهد V_{GS} عند ثبات قيمة الجهد V_{DS}، وتتراوح قيمة الموصلية من 0.1 إلي 20 ملي أمبير/ فولت.
- معامل التكبير **The amplification factor μ:** هو عبارة عن معدل تغير الجهد V_{DS} بالنسبة لتغير الجهد V_{GS} عند ثبات قيمة التيار I_D.

وترتبط هذه المعاملات الثلاث بالعلاقة التالية:

$$\mu = g_m \, r_d$$

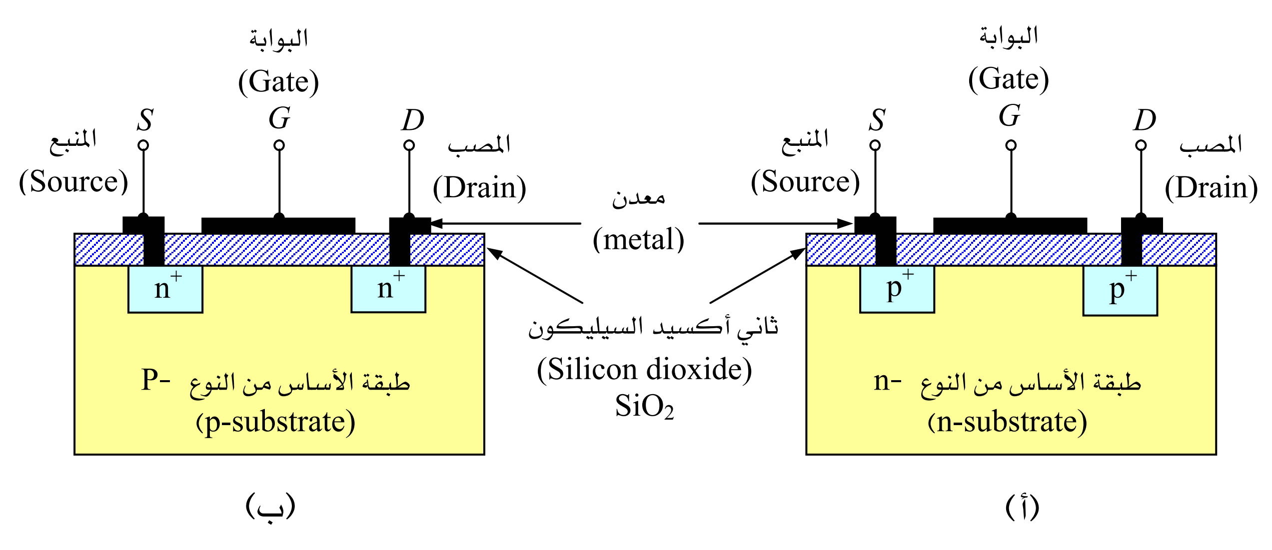
٧ -٤ ترانزستور تأثير المجال المعدني الاكسيدي شبه الموصل

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

بالإضافة لتسميته ترانزستور تأثير المجال المعدني الاكسيدي شبه الموصل (MOSFET) يسمى أيضا ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (Insulated Gate Field Effect Transistor) ويرمز له بالرمز IGFET. ولهذا الترانزستور أهمية تجارية أكثر من ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة حيث إنه يمتاز بصغر حجمه مما يشكل ميزة عند استخدامه في الدوائر المتكاملة (Integrated Circuits). وله مقاومة دخل كبيرة ($10^{15}\Omega$ - $10^{10}\Omega$) نظراً لوجود الطبقة العازلة المتمثلة في طبقة ثاني أكسيد السيليكون. وهناك نوعان من هذا الترانزستور النوع التعزيزى أو المحسن (Enhancement type) والنوع الاستنزافي أو الافراغي (Depletion type).

٧ -٤ -١ الترانزستور **MOSFET** ذو النوع التعزيزى The Enhancement MOSFET

يتكون هذا النوع من الترانزستور من طبقة أساس (Substrate) من مادة شبه موصل ذات شوائب قليلة التركيز من النوع n- (في حالة القناة P-) أو النوع p - (في حالة القناة n-) بها منطقتان ذات شوائب من نوع معاكس لنوع طبقة الأساس وذات تركيز عالي يمثلان المنبع (Source) والمصرف (Drain) ويغطى السطح بطبقة رقيقة عازلة من مادة ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2). ثم تغطى الطبقة العازلة بطبقة موصلة معدنية لتمثل البوابة (Gate). بالإضافة لوجود وصلات معدنية خارجية لكل من المصرف والمنبع كما هو مبين بشكل (٧ -٨).



شكل (٧ -٨) تركيب النوع التعزيزى لترانزستور MOSFET

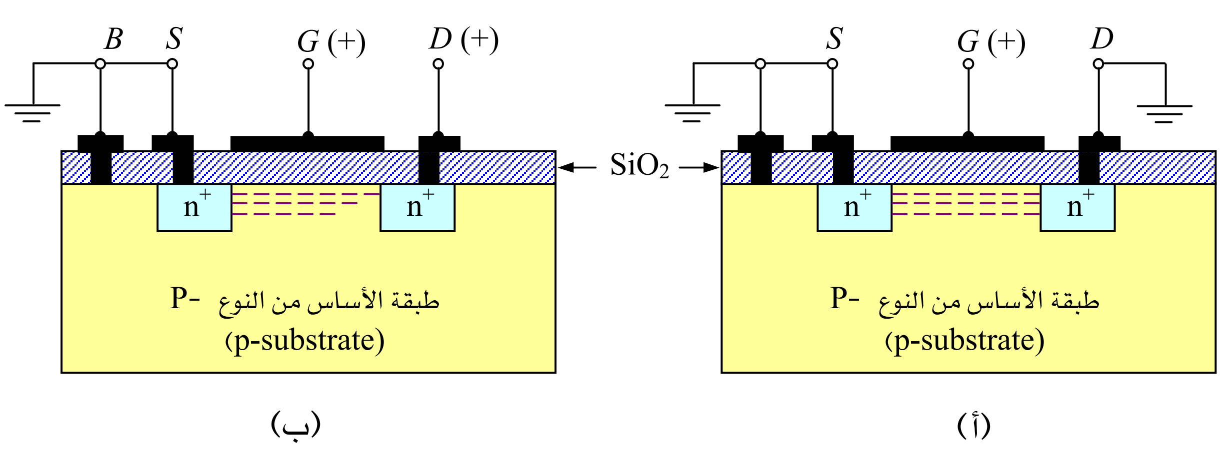
(أ) ذو القناة p- (ب) ذو القناة n-

٧ -٤ -١ -١ كيفية عمل النوع التعزيزى لترانزستور MOSFET
The Enhancement MOSFET Operation

شكل (٧ -٩أ) يبين ترانزستور من النوع التعزيزي ذي القناة n- تم توصيل طبقة الأساس والمنبع بالأرضي بينما فرق الجهد بين المصب والمنبع يساوي صفر ($V_{DS} = 0$). عند تطبيق جهد موجب على البوابة، يتكون مجال كهربائي عمودي على طبقة الاوكسيد ويؤدي هذا المجال إلى تجمع الإلكترونات التي تمثل الشحنات الأقلية الموجودة في طبقة الأساس ذي النوع-p على سطح طبقة شبه الموصل أسفل البوابة. وعند قيمة معينة لجهد البوابة يطلق عليها الجهد الفاصل (Threshold voltage) ويرمز لها بالرمز V_T، تتحول الطبقة السطحية من مادة شبه الموصل الواقعة بين المنبع والمصب من النوع p- إلي النوع n- لتشكل هذه الطبقة قناة تأثيرية (induced channel) بين المنبع والمصب.

ومع زيادة قيمة جهد البوابة V_{GS} عن قيمة الجهد الفاصل V_T يزداد عدد الإلكترونات في هذه القناة ومن ثم تزداد موصليتها.

عند تطبيق فرق جهد بين المصب والمنبع V_{DS}، كما هو مبين في شكل (٧ -٩ب)، فإن قيمة التيار I_D المار خلال القناة التأثيرية تعتمد على قيمة الجهد V_{DS} وعلى موصلية القناة التأثيرية. وعند ثبات قيمة الجهد V_{DS} فإن قيمة التيار I_D تزداد بزيادة قيمه جهد البوابة وهو ما يعني تحسن قيمة التيار باستخدام جهد البوابة الموجب.



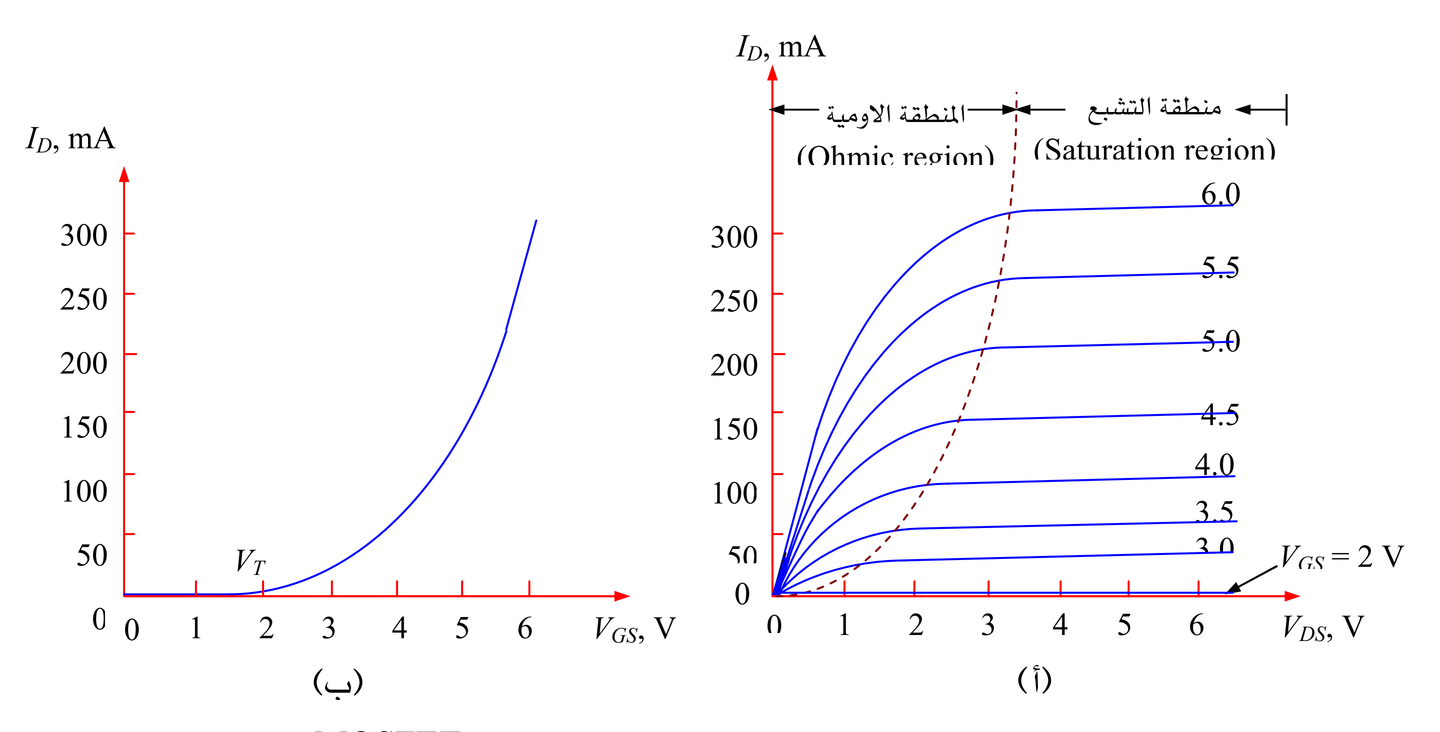
شكل (٧ -٩) القناة التأثيرية للنوع التعزيزي لترانزستور MOSFET ذو القناة n-

(أ) $V_{DS} = 0$ (ب) $V_{DS} > 0$

أما في حالة استخدام ترانزستور من النوع التعزيزي ذي القناة p- ،فإن التحسن في قيمة التيار يكون عند تطبيق جهد سالب على البوابة وهو سبب تسمية هذا النوع من الترانزستور بالنوع المحسن أو التعزيزى.

٧ -٤ -١ -٢ منحنيات خواص النوع التعزيزى لترانزستور MOSFET Enhancement MOSFET Characteristics

شكل (٧ -١٠) يبين منحنيات الخواص للنوع التعزيزى لترانزستور MOSFET ذي القناة n-.
شكل (٧ -١٠أ) يوضح منحنيات خواص المصرف أو الخرج، ونلاحظ منها أنه كلما زادت قيمة الجهد V_{GS} فإن قيمة التيار I_D تثبت تقريباً عند قيم أقل للجهد V_{DS}. يبين شكل (٧ -١٠ب) منحنى التحويل ومنه نلاحظ أن قيمة التيار I_D تكون صغيرة جداً (بالنانو أمبير) إذا كانت قيمة جهد البوابة أقل من قيمة الجهد الفاصل، ولكن بعد الجهد الفاصل يزداد التيار بقيم كبيرة ولذلك يمكن استخدام هذا النوع من الترانزستور كمفتاح، حيث لا يمرر تيار كهربائي بقيم ملحوظة إلا إذا وصل الجهد إلى قيمة الجهد الفاصل.



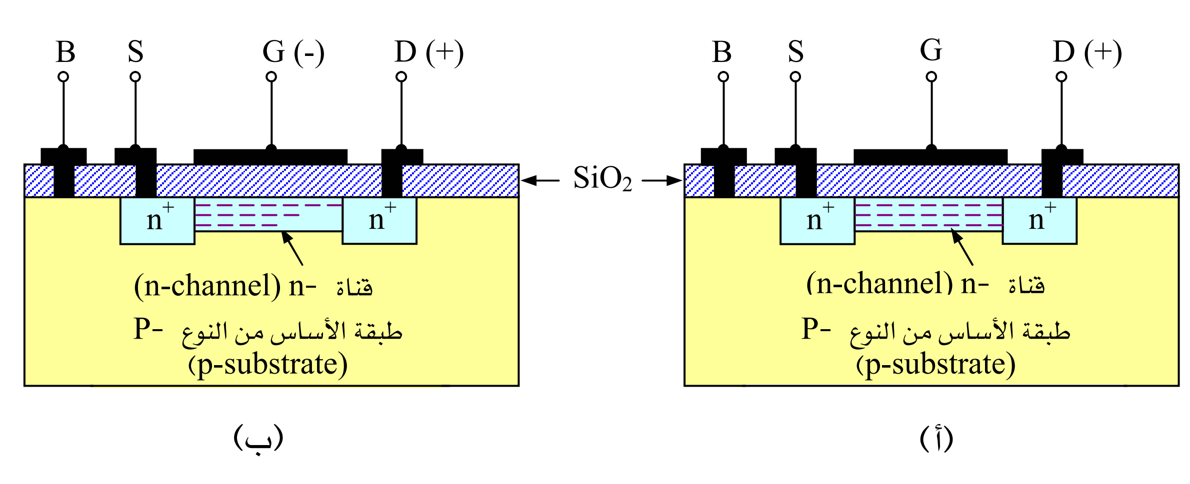
شكل (٧ -١٠) منحنيات خواص النوع التعزيزى لترانزستور MOSFET ذو القناة - n

(أ) خواص المصرف أو الخرج (Drain or Output characteristics)

منحنيات الخواص المبينة بالشكل (٧ -١٠) تصلح للترانزستور ذي القناة -p مع عكس قطبية جميع الجهود والتيارات.

٧ -٤ -٢ الترانزستور MOSFET ذو النوع الاستنزافي The Depletion MOSFET

يختلف هذا النوع عن النوع التعزيزي المذكور سابقاً بوجود طبقة من النوع -n بين المنبع والمصرف بالنسبة للترانزستور ذي القناة -n بينما تكون هذه الطبقة من النوع -p في حالة الترانزستور ذي القناة -p، وتم تكوين هذه الطبقة بإضافة شوائب إلى مادة شبه الموصل من نفس نوع الشوائب المستخدمة في تكوين منطقتي المنبع والمصرف كما هو مبين في شكل (٧ -١١) بالنسبة للترانزستور ذي القناة -n.



شكل (٧ -١١) تركيب النوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET ذو القناة -n

٧ -٤ -٢ -١ كيفية عمل النوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET
The Depletion MOSFET Operation

بالنسبة للترانزستور ذو القناة -n المبين في شكل (٧ -١١)، إذا وصلنا طبقة الأساس وكذلك البوابة بالأرض، فإن التيار يمر وذلك لوجود الإلكترونات بكثرة في منطقة القناة. أما إذا طبقنا جهد سالب على البوابة، فإن المجال الكهربائي الناشئ يؤدي إلى تقليل عدد الإلكترونات في القناة مما يجعلها أقل موصلية وبالتالي تقل قيمة التيار الكهربائي. وكلما ازداد الجهد السالب المطبق على البوابة كلما قل عدد الإلكترونات في القناة إلى أن يصل جهد البوابة إلى قيمة الحد الفاصل (Threshold voltage) V_T وعندها تصبح القناة خالية من الإلكترونات وتقل قيمة التيار I_D إلى الصفر.

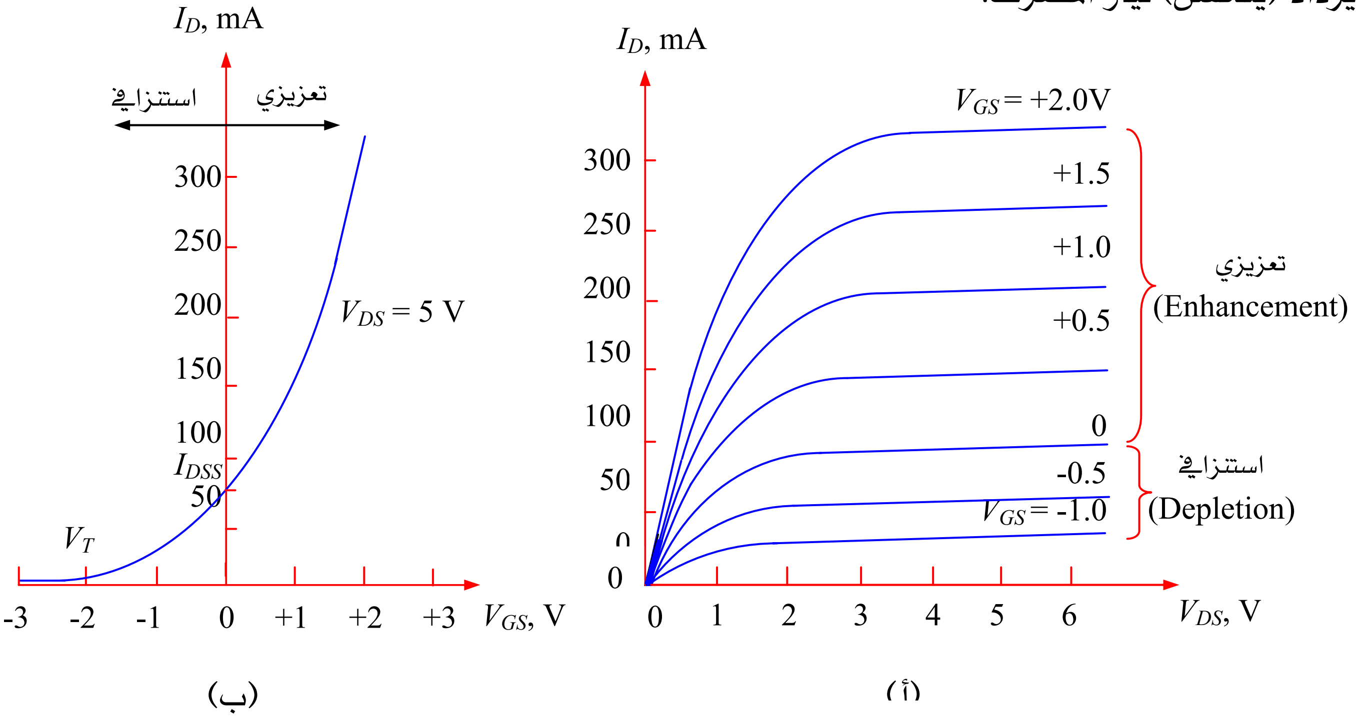
ونلاحظ في هذا النوع أنه نتيجة لتطبيق الجهد السالب على البوابة يتم استنزاف أو إفراغ القناة من الإلكترونات وهذا هو سبب تسمية هذا النوع بالنوع الاستنزافي أو الافراغي.

أما إذا طبقنا جهد موجب على البوابة، فإن هذا النوع من الترانزستور يعمل كالنوع التعزيزي حيث تزداد موصلية القناة نظراً لزيادة عدد الإلكترونات بها وبالتالي تزداد قيمة التيار I_D.

في حالة الترانزستور ذي القناة p- ، تعكس قطبية البوابة حيث الشحنات المتواجدة في القناة هي الفجوات.

٧ -٤ -٢ -٢ منحنيات خواص النوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET
Depletion MOSFET Characteristics

شكل (٧ -١٢) يبين منحنيات خواص الخرج ومنحنى التحويل للنوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET ذي القناة n- . نلاحظ من هذه المنحنيات أنه كلما ازداد الجهد السالب المطبق على البوابة كلما أصبحت القناة اقل موصلية وبالتالي يقل (يستنزف) تيار المصرف. أما إذا طبقنا جهداً موجباً على البوابة فإن طبقة تأثيرية من الإلكترونات تتشكل في القناة السالبة أصلاً مما يزيد من موصليتها وبالتالي يزداد (يتحسن) تيار المصرف.



شكل (٧ -١٢) منحنيات خواص النوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET ذو القناة n-

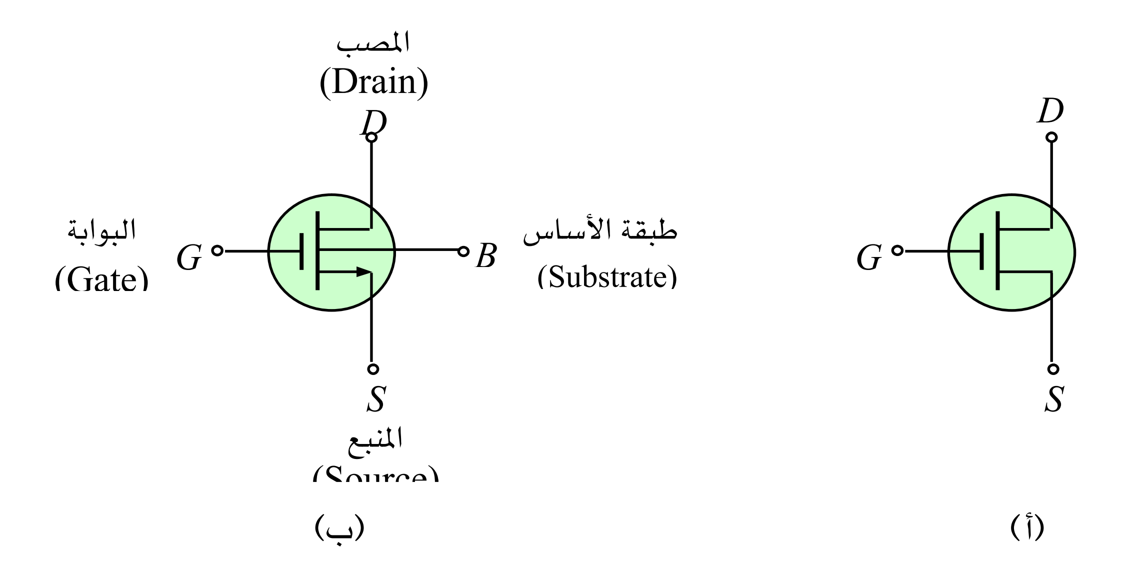
(أ) خواص المصرف أو الخرج (Drain or Output characteristics)

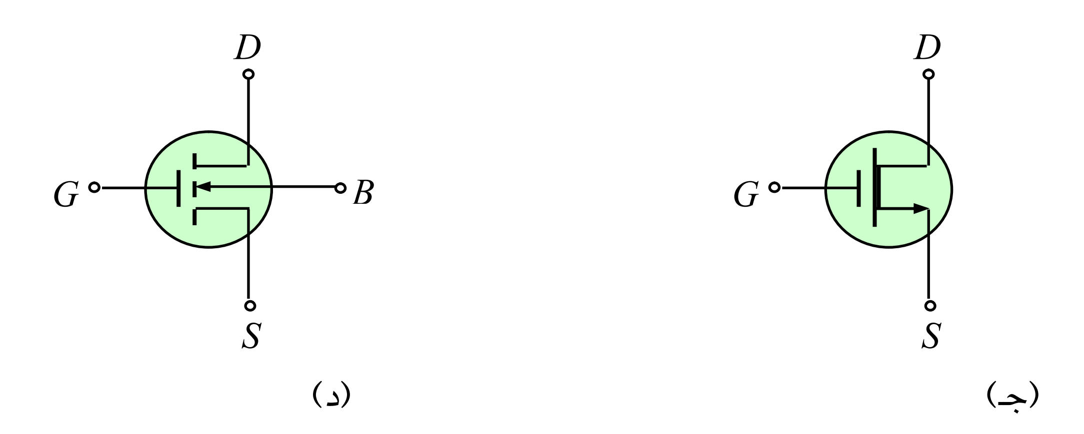
(ب) خواص التحويل (Transfer characteristic)

منحنيات الخواص المبينة بالشكل (٧ -١٢) تصلح للترانزستور ذي القناة -p مع عكس قطبية جميع الجهود والتيارات.

٧ -٤ -٣ الرموز المستخدمة لترانزستور **MOSFET** MOSFET Circuit Symbols

شكل (٧ -١٣) يبين الرموز المستخدمة لترانزستور MOSFET ذي القناة -n ويمكن استخدام نفس الرموز بالنسبة للترانزستور ذي القناة -p مع عكس اتجاه السهم المبين بكل رمز.





شكل (٧ -١١) الرمز الالكتروني لترانزستور MOSFET ذو القناة -n.

الرموز في (أ) و (ب) يمكن استخدامها للنوع التعزيزي أو النوع الافراغي،

بينما يستخدم الرمز في (جـ) للنوع الافراغي والرمز في (د) للنوع التعزيزي.

أسئلة على الوحدة السابعة

٧ -١ قارن بين مميزات ترانزستور تأثير المجال و الترانزستور ثنائي القطبية.

٧ -٢ ارسم التركيب الأساسي والرمز المستخدم لترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET).

٧ -٣ وضح بالرسم شكل منطقة الاستنزاف قبل وبعد جهد الضيق.

٧ -٤ عرف جهد الضيق V_P وجهد القطع $V_{GS(off)}$ بالنسبة للترانزستور JFET.

٧ -٥ ارسم منحنيات الخواص بالنسبة للترانزستور JFET ذي القناة -n

٧ -٦ عرف كل من: (أ) مقاومة المصرف r_d (ب) الموصلية g_m (جـ) معامل التكبير μ، ثم اذكر العلاقة التي تربط بينهم.

٧ -٧ علل لما يأتي " مقاومة الدخل لترانزستور MOSFET أكبر من مقاومة الدخل لترانزستور JFET "

٧ -٨ وضح بالرسم التركيب الأساسي لترانزستور MOSFET ذو النوع التعزيزي.

٧ -٩ اشرح كيفية تكوين القناة التأثيرية في النوع التعزيزي لترانزستور MOSFET ذي القناة -P.

٧ -١٠ ارسم منحنيات الخواص للنوع التعزيزي لترانزستور MOSFET ذي القناة -n.

٧ -١١ بين بالرسم التركيب الأساسي للنوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET ذي القناة -n.

٧ -١٢ اشرح نظرية عمل النوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET ذي القناة -n.

٧ -١٣ أرسم منحنيات الخواص للنوع التعزيزي لترانزستور MOSFET ذو القناة -p.

٧ -١٤ عرف معنى الجهد الفاصل بالنسبة للنوع التعزيزي والنوع الاستنزافي لترانزستور MOSFET

٧ -١٥ ارسم الرموز المستخدمة لترانزستور MOSFET.